

VŠB - Technická univerzita

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Využití odpadního tepla kogeneračních jednotek v ORC

Waste Heat Utilization from Cogeneration Units in ORC

Student:

Jiří Koníček

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Jiří Koníček

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

3907R009 Provoz energetických zařízení

Téma:

Využití odpadního tepla kogeneračních jednotek v ORC
Waste Heat Utilization from Cogeneration Units in ORC

Zásady pro vypracování:

Obchodní společnost Green Gas DPB, a.s. se sídlem v Paskově je dominantním zpracovatelem důlního plynu v podmínkách MS kraje. Transformace chemické energie obsažená v tomto palivu se zde transformuje na energii elektrickou a tepelnou v kogeneračních jednotkách s využitím spalovacích motorů.

V bakalářské práci zpracujte v úvodní části:

- rozbor vzniku důlního plynu,
- využití důlního plynu v podnínkách Green Gas DPB, a.s.,
- jiné způsoby energetického využití důlního plynu.

Dominantní částí práce bude řešeršní činnost k možnému nasazení tzv. OR cyklu na výstupní část stávajících technologií, včetně návrhu chladiva a schématu zapojení.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOLARČÍK, K., KAMINSKÝ, J., PUMPRLA, O. *Kompresory*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. 125 s. ISBN 80-248-0704-1.

KŘENEK, D., KONEČNÝ, M. *Technická zařízení pro odsávání důlního plynu*. Firemní materiál OKD, DPB, a.s.

KONÍČEK, J., KONEČNÝ, M. *Využití důlního plynu z Ostravsko – karvinských dolů v kogeneračních jednotkách*. Firemní materiál Green Gas DPB, a.s.

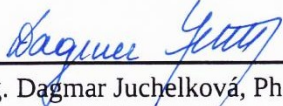
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne:

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne:

.....

Jiří Koníček

Baška 472

739 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KONÍČEK, J. Využití odpadního tepla kogeneračních jednotek v ORC. Ostrava: Katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, 60 stran Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.

Bakalářská práce se zabývá netradičním způsobem využití odpadního tepla kogeneračních jednotek v podmínkách společnosti Green Gas DPB, a.s. Výbráním vhodné lokality v Ostravsko-karvinském revíru, kde je teplo nevyužito a následné nasazení vhodné ORC zařízení.

Nejprve jsem přiblížil vznik a těžbu důlního plynu a následné potíže, které tento plyn může způsobit v dolech, když nebude odsáván do ovzduší nebo využit v různých zařízeních, vytvořeným k tomuto účelu. Dále jsem popsal kogeneraci a způsoby využití odpadního tepla kogeneračních jednotek.

Dále jsem vypočítal výkon spalín kogenerační jednotky, který mi dal podklady pro návrh možnosti zapojení ORC technologie na vybrané lokalitě. Tato bakalářská práce dále poskytuje stručný pohled na ekonomické a ekologické hledisko provozu ORC.

ANOTATION OF THESIS

KONÍČEK, J. Waste Heat Utilization from Cogeneration Units in ORC. Ostrava: Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Ostrava, 2013, 60 p. Thesis, supervisor: Ing. Kamil Kolarčík, CSc.

This thesis deals with an innovative way to use the waste heat cogeneration units in terms of Green Gas DPB, as Selecting a suitable site in the Ostrava-Karvina district, where the heat is not used and the subsequent deployment of appropriate ORC device.

At First I approached the creation and extraction of mine gas and the subsequent problems that this can cause gas in mines, if not exhausted to the atmosphere or used in devices designed for this purpose. I also described cogeneration and waste heat recovery cogeneration units.

In the end I calculated the performance of flue gas cogeneration units, which gave me the basis for the design possibilities involvement ORC technology at the selected location. This work also provides a brief look at the economic and environmental aspects of operation ORC.

Obsah bakalářské práce

Seznam použitého značení:	8
1. Úvod	9
2. Důlní plyn	9
2.1 Charakteristika důlního plynu	9
2.1 Vznik důlního plynu	10
2.2 Těžba důlního plynu z uzavřených dolů	10
2.3 Těžba důlního plynu z činných dolů	11
2.4 Technická zařízení pro těžbu důlního plynu	11
2.5 Využití důlního plynu v podmínkách Green Gas DPB a.s.	15
2.6 Jiné způsoby využití důlního plynu	16
3. Kogenerace	16
3.1 Legislativa a podpora kogenerace	18
3.2 Princip kogenerace	19
3.3 Kogenerační zařízení	21
3.4 Typy kogeneračních technologií	25
3.5 Uplatnění kogeneračních jednotek v podmínkách Green Gas DPB, a.s.	27
3.6 Rozdělení tepelného systému KGJ:	29
3.7 Možnosti využití tepla z KGJ:	31
4. Organický Rankinův cyklus	36
4.1 Rankin-Clausiův parní cyklus	36
4.2 Organický Rankinův cyklus	38
4.3 Princip a funkce ORC	38
4.4 Výhody a nevýhody ORC	42
4.5 Uplatnění ORC v podmínkách Green Gas DPB, a.s.	43
4.6 Výběr ORC technologie na lokalitu František	44
4.7 ORC Triogen 160	48
4.8 Výpočet tepelného výkonu spalín 2x KGJ Tedom Quanto D 1600	50
4.9 Výpočet celkové elektrické účinnosti KGJ + ORC	51

4.10 Ekonomické zhodnocení ORC v podmínkách Green Gas DPB a.s.	52
4.11 Možnosti využití ORC jinde ve světě	54
5. Závěr	56
Seznam použité literatury	57
Přílohy:	59

Seznam použitého značení:

P_{el}	je elektrický výkon	[kW]
Q_{tep}	je tepelný výkon	[kW]
Q_{pal}	je tepelný příkon přiváděný v palivu	[kW]
m_{min}	minimální nutný průtok	[t/h]
q_{el}	průměrná měrná spotřeba tepla na výrobu elektřiny	[GJ.MWh ⁻¹]
T	počet provozních hodin KGJ v daném období	[h]
n	počet otáček	[ot.min ⁻¹]
t	teplota	[°C]
p	tlak	[Pa,bar]
P	příkon	[kW]
Q_i^r	výhřevnost	[kJ/m ³]
V	objem	[m ³]
c_p	měrná tepelná kapacita	[kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
η	účinnost	[%]
a_0	vykonaná práce	[W]
q_a	teplo přivedené	[J]
q_b	teplo odvedené	[J]

Seznam použitých chemických značek:

CH ₄	metan
CO ₂	oxid uhličitý
H ₂ O	voda
N ₂	dusík
NO _x	oxidy dusíku
O ₂	kyslík

1. Úvod

V dnešní době vnímáme v energetice řadu změn. Největší důraz je kladen především na ochranu životního prostředí, snížení ekonomické náročnosti energetických procesů, zvýšení jejich účinnosti a využití obnovitelných a alternativních energetických zdrojů. Využití důlního plynu pro výrobu elektrické energie a tepla zahrnuje společně všechny tyto aspekty. Spalováním důlního plynu ve vysoce účinné kogeneraci dochází k energetickému procesu, který splňuje nároky Evropské unie kladené na výrobce. Proces je velmi šetrný k životnímu prostředí, plyn při něm není vypouštěn do ovzduší, ale je efektivně využíván.

Hlavním cílem této práce je aplikace technologie tzv. Organický Rankinův cyklus (dále ORC) pro využití odpadního tepla z motoru kogeneračních jednotek (dále KGJ) firmy Green Gas DPB a.s., situován na vhodně vybrané lokalitě v Ostravsko-karvinském revíru (OKR). V tomto projektu dojde ke zvýšení celkové elektrické účinnosti při výrobě elektrické energie z důlního plynu. Zároveň dojde k úspoře primárních paliv a redukce emisí CO₂ vypouštěných do ovzduší. V závěru této práce bude proveden výpočet tepelného výkonu spalín kogenerační jednotky, která bude zdrojem tepla pro ORC, dále výpočet celkové elektrické účinnosti KGJ a ORC. Uvedeno bude také ekonomické zhodnocení ORC v podmínkách společnosti Green Gas DPB, a.s. a způsoby využití ORC jinde ve světě.

2. Důlní plyn

2.1 Charakteristika důlního plynu

Koncentrace důlního plynu je závislá na mnoha faktorech a podmínkách spojených s těžbou uhlí na jednotlivých dolech. Svým složením je velmi podobný zemnímu plynu. Hlavní složkou, stejně jako u zemního plynu je metan, který tvoří 25-80% důlního plynu. Ostatní složky, které důlní plyn tvoří, jsou CO₂, N₂, O₂ a vyšší uhlovodíky. V oblasti činných dolů se tento plyn nazývá degazační a jeho koncentrace metanu se pohybuje kolem 50%, této koncentrace však není mnohdy dosaženo.[1]

V současné době je podpora výroby elektrické energie z důlního plynu ve výrobnách uvedených do provozu do 31.12.2012 následující:

- A) Plyn z uzavřených dolů – obnovitelný zdroj energie
- B) Plyn z činných dolů – druhotný zdroj energie

2.1 Vznik důlního plynu

V přímé souvislosti s technologií dobývání uhlí dochází ve všech černouhelných dolech k uvolňování důlního plynu, jehož nedílnou součástí je metan. Tento plyn vznikl jako vedlejší produkt při tvorbě uhlí z biomasy a je vázán na uhelné sloje nebo je uzavřený v horninových strukturách, nejčastěji v nadloží uhelných slojí. Na činných dolech je tento plyn odsáván systémem důlní degazace. Značná pozornost je v současné době soustředěna na řešení problematiky vystupujícího důlního plynu na povrch v lokalitách uzavřených dolů.

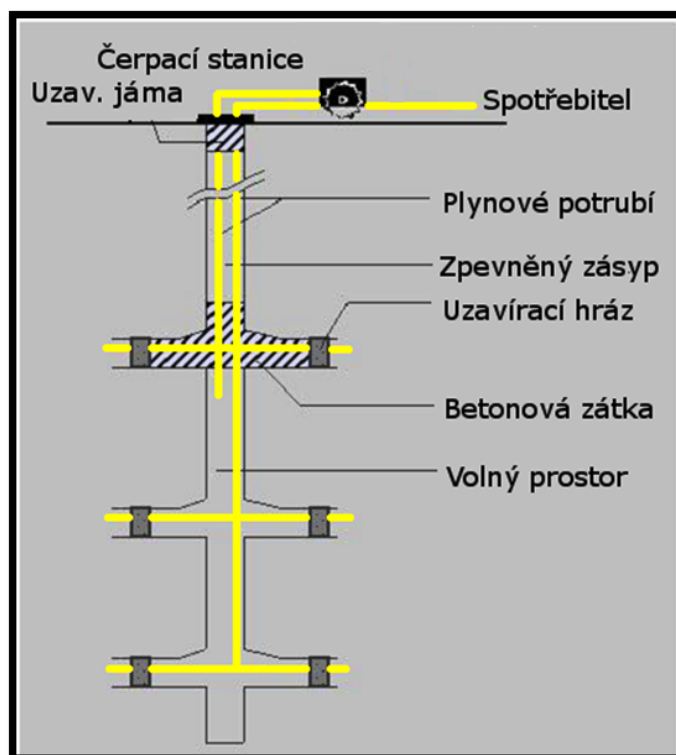
Průvodní jevy doprovázející útlum hornické činnosti v Ostravsko-karvinském revíru vyvolaly koncem 90 let potřebu řešení těchto nově vzniklých problémů. S uzavíráním dolů a zánikem větrání dolů dochází k samovolnému výstupu důlního plynu, který při nekontrolovaném výstupu na povrch, případně do uzavřených a nevětraných prostor budov může dosáhnout výbušné koncentrace. V několika případech způsobil tento plyn výbuch a zranění osob. Vysoká pravděpodobnost migrace důlního plynu na povrch existuje na celém území zasaženém v minulosti hornickou činností.[2]

2.2 Těžba důlního plynu z uzavřených dolů

V podmínkách OKD je těžba důlního plynu z uzavřených dolů v plném rozsahu realizována společností Green Gas DPB, a.s., a to prostřednictvím speciálně upravených likvidovaných jam a podpůrně pak z povrchových vrtů, směřovaných do vydobytých stařin uzavřených dolů (volné prostory po vydobytých uhelných slojích) s předpokládanou kumulací důlního plynu. Před zahájením těžby plynu je třeba vyhovět legislativnímu rámci činnosti ve smyslu Horního zákona, což předpokládá zejména:

- Stanovení zvláštních dobývacích prostorů pro těžbu plynu.
- Povolení hornické činnosti.

V případě výroby elektřiny z plynu uzavřených dolů si výrobce pro každý kalendářní rok může vybrat dle výhodnosti jednu ze dvou variant a to povinný výkup u provozovatele regionální distribuční soustavy nebo provozovatele přenosové soustavy (ČEZ Distribuce, a.s.), případně prodej elektřiny obchodníkovi s elektrickou energií a uplatnění tzv. zeleného bonusu u provozovatele regionální distribuční soustavy. Varianta“ prodej za tržní cenu + zelený bonus“ byla díky vysokým výkupním cenám elektřiny dosud výhodnější, než uplatnění povinného výkupu. Od 1.1.2013 přešlo vyplácení bonusů, případně povinného výkupu na OTE (operátor trhu s elektřinou).



Obr. č. 2.1 Schéma odsávání plynu z uzavřené jámy

2.3 Těžba důlního plynu z činných dolů

Těžba důlního plynu z činných dolů se nazývá degazace. Degazací rozumíme souhrn činností s cílem snížit exhalace plynu do důlních prostor, a tím zajistit zvýšenou bezpečnost při dobývání vč. snížení plynodajnosti uhelných slojí. Produkt degazace je nazýván degazačním plynem. Z hlediska plnění funkce degazace, rozdělujeme degazaci na degazaci z povrchu a degazaci důlní. Doprovodně je také důlní plyn získáván z tzv. „doplňkové“ degazace. Veškerý vytěžený plyn z činných dolů v ostravsko-karvinském revíru je společností Green Gas DPB, a.s. vykupován a prioritně dodáván do energetických provozů dolů, následně do kogeneračních jednotek a zbylá část plynu je distribuována plynovodem k průmyslovým odběratelům v této lokalitě (Mittal, a.s., Dalkia, a.s., ŽDB, a.s.). V případě činných dolů existuje od 1.1.2013 pouze jeden model prodeje elektřiny, a to prodej elektřiny obchodníkovi za tržní cenu a uplatnění příplatku u provozovatele regionální distribuční soustavy (společnost ČEZ Distribuce, a.s.).

2.4 Technická zařízení pro těžbu důlního plynu

Souhrn opatření na ochranu ohroženého území před vystupujícím důlním plynem vyústil do návrhu sítě odvětrávacích vrtů, situovaných na ohroženém území tak, aby přirozeným větráním byl umožněn řízený výstup důlního plynu na povrch. Tento pasivní způsob větrání byl na základě zkoušek doplněn o požadavek zvýšení ochrany území proti vystupujícímu plynu. Ten spočívá v

aktivním odsávacím zařízením, které by vyšším podtlakem ve vrtech vytvořilo komunikační trasy, zajišťující řízené odvádění plynu ve větších objemech z rozsáhlejšího území. Pro řešení úkolu jímání vystupujícího plynu na povrch a aktivní ochranu území a objektů zahájila Green Gas DPB, a.s., ve spolupráci s firmou Kubíček, vývoj a výrobu automatických bezobslužných čerpacích a odsávacích stanic důlního plynu.

Základní rozdělení technických zařízení pro odsávání důlního plynu:

A) Podle účelu nasazení:

- Čerpací stanice důlního plynu zajišťující čerpání plynu z důlních zdrojů a stařin a jejich přepravu plynovody pro komerční využití. Tato zařízení pracují v následujících režimech:
 - Odsávaný plyn s koncentrací 30 % až 80 % CH_4
 - Čerpané množství plynu od 500 do 1500 m^3 / hodinu
 - Pracovní rozsah tlaku je od cca 70 do 150 kPa abs.



Obr. č. 2.2 Moderní plně-automatizovaná mobilní čerpací stanice důlního plynu KUBÍČEK

Tato stanice zajišťuje automatický přenos informací o těžbě důlního plynu na dispečink Green Gas DPB a.s., který je situován v místě firmy (Paskov).

B) Podle operativnosti nasazení a přemísťování:**Mobilní nebo zásahové odsávací stanice (viz. Obr. č. 2.3)**

Tato zařízení mohou být montovaná v automobilních nadstavbách, napojené na elektrocentrálu nebo na pevnou elektrizační síť v místě postavení. Slouží pro krátkodobé odsávací zkoušky.



Obr. č. 2.3 Starší mobilní odsávací stanice s nutností obsluhou

Kontejnerové čerpací nebo odsávací stanice (viz. Obr. č. 2.4)

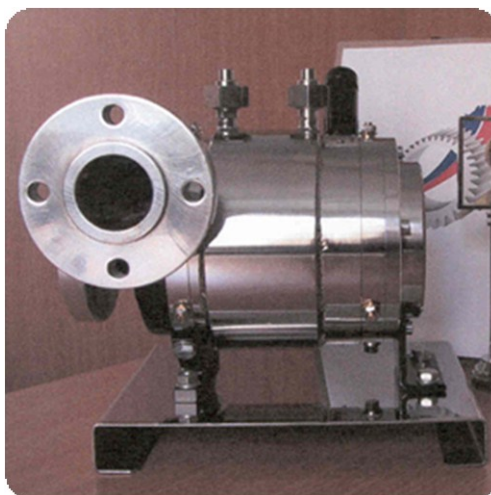
Jedná se o zařízení montované do speciálních samonosných kontejnerů vhodně zateplených a odhlučněných, zajišťujících ochranu před poškozením a napadením. Slouží buď pro krátkodobé nebo i dlouhodobé nasazení na jednom nebo více místech.



Obr. č. 2.4 Odsávací zařízení KUBÍČEK uvnitř kontejneru

Lokální odsávací zařízení (viz. Obr. č. 2.5)

Jedná se o speciální zařízení, sloužící pro aktivní odsávání mělkých vrtů, sklepů budov, případně kanalizací. Zařízení je umístěno v odhlučněných kontejnerech nebo na základových rámech, které se dají operativně přemístit a při instalaci nevyžadují žádná stavební řízení.



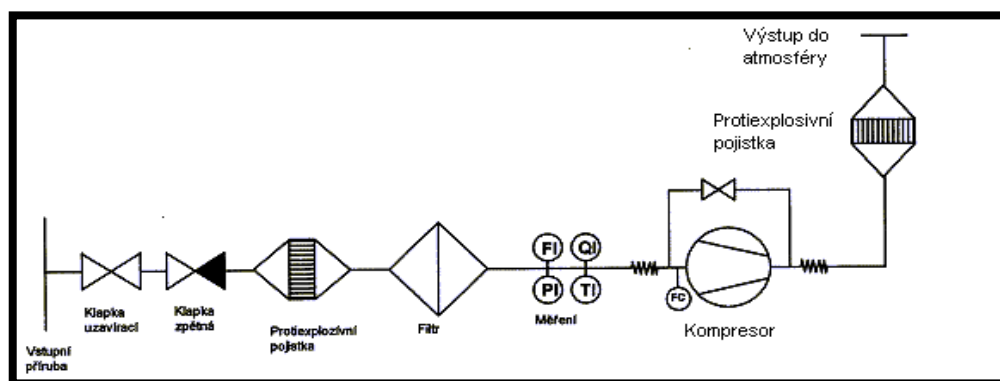
Obr. č. 2.5 Turbodmychadlo ATD LFG 3000

Stabilní čerpací zařízení (viz. Obr. č. 2.6)

Jedná se o instalaci většinou velkoobjemových dmychadel, instalovaných volně pod přístřešky nebo v pevných stavbách. Jsou vhodné pro dlouhodobé nasazení a využívání. Slouží většinou pro těžbu plynu ke komerčnímu využití. Technické vybavení je u čerpacích nebo odsávacích zařízení podobné a liší se pouze volbou vhodných komponentů. [3]



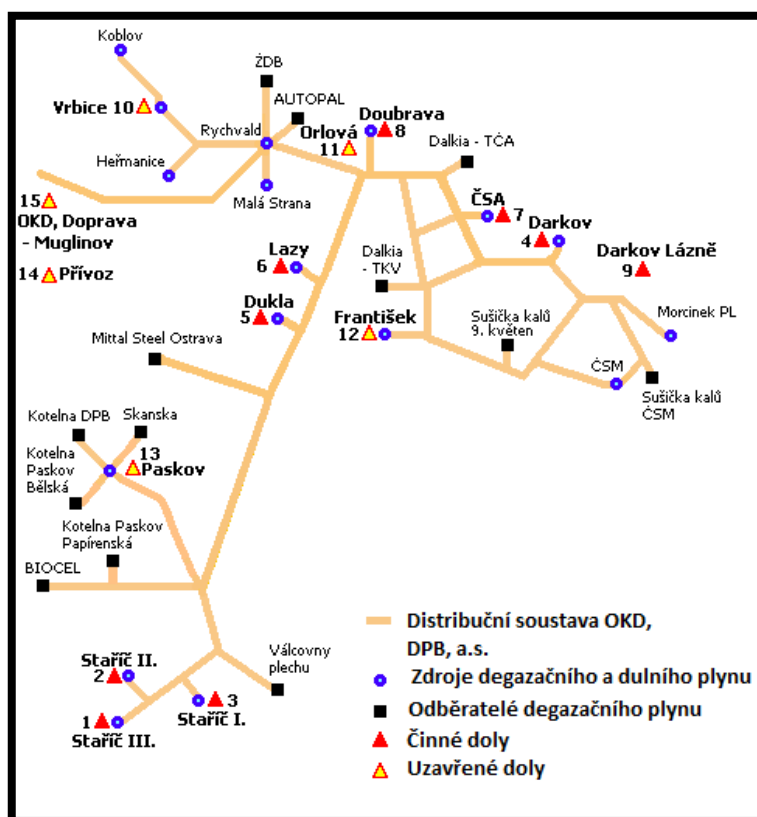
Obr. č. 2.6 Moderní stabilní čerpací stanice na lokalitě Orlová



Obr. č. 2.7 Schéma čerpací nebo odsávací stanice

2.5 Využití důlního plynu v podmínkách Green Gas DPB a.s.

Důlní plyn byl v minulosti přepravován systémem SMP a.s., který původně sloužil výhradně pro distribuci plynu zemního. Z důvodu vlastní obchodní politiky v Green Gas DPB, a.s., došlo k systémovému řešení maximálního uplatnění důlního plynu u průmyslových odběratelů, a to na základě vybudování vlastní distribuční soustavy, nezávislé na SMP. Výstavba vlastního plynovodu byla zahájena v letech 1992 – 1994. V současné době Green Gas DPB, a.s. provozuje autonomní plynovodní síť o délce 170 km, viz. Obr. č. 2.6. Tento plynovod slouží k distribuci plynu pro externí odběratele a pro dodávky plynu do KGJ.



Obr. č. 2.8 Mapa plynovodní sítě

Pro zajištění této činnosti byla v rámci Green Gas DPB, a.s. vytvořena divize Důlní plyn, která zajišťuje těžbu, distribuci a prodej plynu, provoz i výstavbu plynovodů a provozování odsávacích stanic. Distribuce plynu dle Zákona č. 222/94 Sb. je povolena rozhodnutím o udělení státní autorizace pro rozvod plynu. Důlní plyn je nakupován z činných a těžen z uzavřených dolů OKD. V poslední době se daří udržovat složení plynu v přijatelném standardu a je tedy vhodný pro využití ve středních a větších zdrojích. Aktuální mapa KGJ a plynovodů pro rok 2013 (viz. příloha č.1).

2.6 Jiné způsoby využití důlního plynu

Důlní plyn je kvalitním palivem, který je svými vlastnostmi blízký zemnímu plynu. Nabízí se tedy více technických možností jeho využití. Technická možnost je však jen jedním předpokladem skutečného uplatnění. Dalšími dvěma důležitými hledisky jsou disponibilní objemy plynu a možnosti jeho obchodního uplatnění.

V minulosti bylo využití důlního plynu převážně zaměřeno na spalování v kotelnách pro výrobu tepla, teplé užitkové vody a v technologických provozech hutních podniků. Negativní stránkou těžby důlního plynu je časová disproporce mezi jejím objemem a potřebou tepla pro vytápění v závislosti na ročním období a venkovní teplotě. Degazovaný plyn musí být využíván průběžně, nelze jej skladovat, zásobníky plynu Green Gas DPB, a.s. k dispozici nemá. Těžba plynu z uzavřených dolů, případně vrtů však může být dle potřeby regulována. Toho bylo a dosud i je využíváno u dodávek pro technologickou potřebu převážně hutních provozů a následně i pro KGJ, kde je důlní plyn odebírán rovnoměrně po celý rok. Podmínkou spalování v kotelnách je koncentrace metanu vyšší než 50%. Zásadní změnou využití důlního plynu byla skutečnost, že plyn o koncentraci cca 30% CH₄ lze úspěšně využít pro spalování v plynových motorech kogeneračních jednotek.

3. Kogenerace

„Je jedním z nejefektivnějších způsobů transformace energie paliva na kvalitativně vyšší formy energie, široce používané a požadované. Kogenerace je současná produkce elektřiny a tepla z jednoho zdroje energie. Využití zbytkového tepla parního, plynového, či jiných cyklů pro vytápění, nebo k technologickým účelům odstraní slabiny, omezující účinnost při pouhé výrobě elektřiny a takové řešení pak umožňuje dosáhnout celkové účinnosti přes osmdesát procent. Proto je rozvoj kogenerace součástí všech energetických programů. Z logiky věci je jasné, že podmínkou vysoké účinnosti není jen současná výroba, ale také současné využití elektřiny i tepla.

Taková připomínka by byla zbytečná v čistě tržním prostředí, je však namístě v prostředí silně poznamenaném dotační politikou.“



Obr. č. 3.1 Kogenerační jednotky společnosti Green Gas DPB, a.s.

„Podmínky pro využití elektřiny jsou značně odlišné od podmínek pro využití tepla. Zatímco přenosová síť je schopná akceptovat v kogeneraci vyrobenou elektřinu téměř neomezeně, spotřeba tepla bude vždy limitovaná, místně i časově. Přirozeně budou podmínky pro využití tepla a tím zajištění vysoké účinnosti kogenerace lepší v zimě než v létě, ve Finsku než v Řecku, v místě se systémem centrálního zásobování teplem než u osamělé kogenerační jednotky na venkově. Protože je vysoký stupeň využití energie paliva hlavní a bezkonkurenční předností kogenerace, měla by být při respektování nezbytnosti využití vyrobeného tepla a tím dosažení vysoké účinnosti produkce elektřiny v relaci s venkovní teplotou, nebo alespoň s ročním obdobím. Snad pouze výroba technologického tepla, nebo tepla pro absorpční chlazení, může tuto relaci narušit. Dostatečně vysoká dotace elektřiny z kogenerace, a zvláště je-li ta elektřina zelená, však již nemusí příliš motivovat k pracnému hledání možností současného využití tepla a z vysokého stupně využití energie paliva pak zůstane jen kogenerační princip, jako argument pro vyžadování podpory.“

[4- cituji: prof. Ing. Pavel Noskovič, CSc. Výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava]

3.1 Legislativa a podpora kogenerace

Enviromentální legislativa:

Je provedena nezávislou autorizovanou osobou v oboru měření emisí (NO_x , CO, TOC-celkový organický uhlík) a na základě tohoto měření je vyhotoven protokol. V současné době vyplývá ze současně platné legislativy zvýhodnění výroby elektrické energie z důlního plynu, že vliv provozu KGJ na životní prostředí bude hodnocen na základě řízení v rámci zákona č. 100/2001, sb. o posuzování vlivu na životní prostředí. Vzhledem k provozování spalovacího motoru bude provoz KGJ posuzován dle zákona č. 86/2002, sb. o ochraně ovzduší. KGJ musí splňovat všechny požadavky na emise znečišťujících látek, obsažených ve spalinách dle vyhlášky MŽP č. 356/2002 a nařízení vlády č. 352/2002 sb. pro stacionární pístový spalovací motor, kterým se stanoví emisní limity a množství vypouštěných škodlivých látek. Dle této legislativy bude:

- Zákon č. 458/2000 Sb., (energetický zákon), kde novela zákona uvádí novou kategorii druhotné energetické zdroje (DZE). Do této kategorie je zařazen i plyn z důlní degazace činných dolů.
- Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE), kde zákon upravuje způsob podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a z důlního plynu z uzavřených dolů.
- Od roku 2013 je platný nový zákon 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie, který řadí od tohoto roku důlní plyn z uzavřených dolů i degazační plyn z činných dolů do druhotných zdrojů.

Energetický regulační úřad podle výše uvedených zákonů vydává pro každý kalendářní rok Cenové rozhodnutí o cenách elektřiny, vyrobené z obnovitelných zdrojů energie a druhotných energetických zdrojů (obvykle ke konci 11. měsíce předcházejícího roku). [6]

- Vyhláška 453 ze dne 13. prosince 2012 o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů:

Tato vyhláška upravuje v návaznosti na přímo použitelný předpis Evropské unie:

- způsob určení množství elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla
- vzor žádosti a podmínky pro vydání osvědčení o původu elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla
- vzor žádosti a podmínky pro vydání osvědčení o původu elektřiny z druhotných zdrojů.

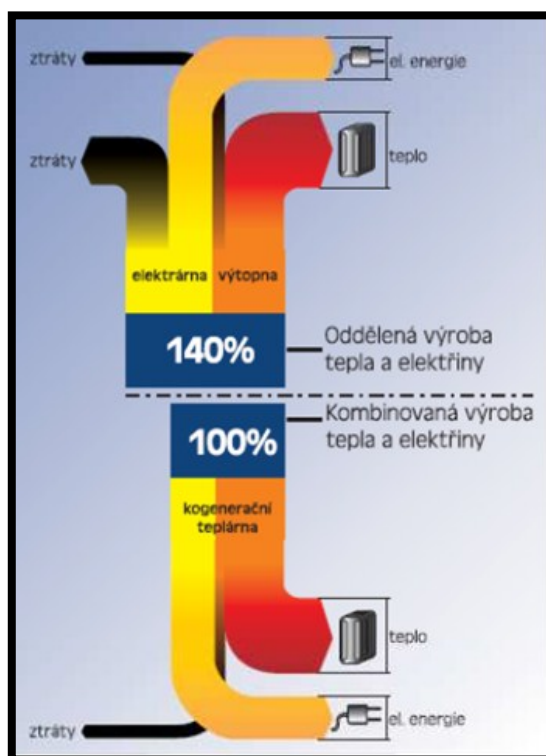
Množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla se stanovuje pro jednotlivou KGJ nebo sériovou sestavu kogeneračních jednotek, v nichž se vyrábí elektřina nebo mechanická energie, a to na základě skutečně dosažených provozních hodnot spotřeby energie v palivu, výroby elektřiny, případně mechanické energie a užitečného tepla. Za elektřinu z kombinované výroby elektřiny a tepla se považuje celkové množství vyrobené elektřiny za období podle právního předpisu, upravujícího vykazování a evidenci elektřiny a tepla z podporovaných zdrojů, to vše naměřené na výstupu hlavních generátorů elektřiny kogenerační jednotky nebo sériové sestavy kogeneračních jednotek, pokud celková účinnost za vykazované období dosáhla:

- a) V případě kogenerační jednotky uvedené v odstavci 1 písm. b) a d) až k) nejméně 75 %,
- b) V případě kogenerační jednotky uvedené v odstavci 1 písm. a) a c) nejméně 80 %.
- c) V případě těžby důlního plynu není nutná kombinovaná výroba a účinnost tak může být nejméně 30%.

3.2 Princip kogenerace

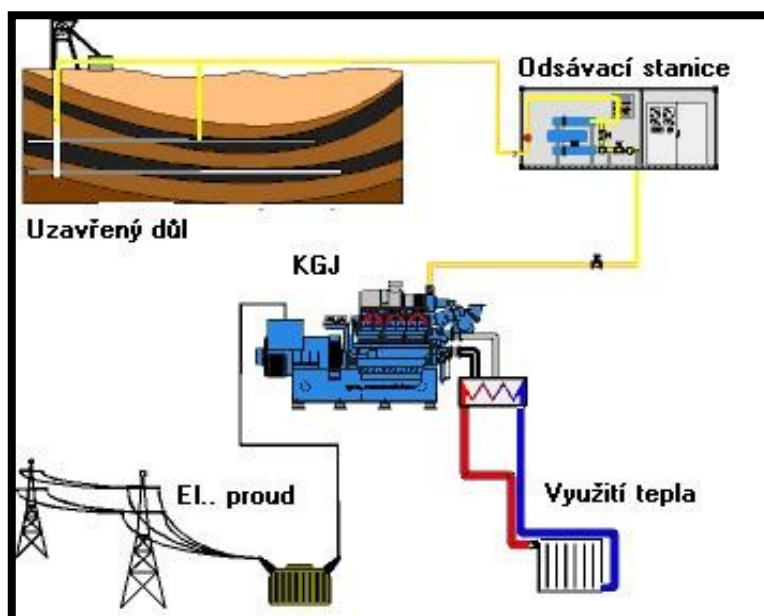
Kogenerace neboli kombinovaná výroba elektřiny a tepla, představuje v současné době jeden z nejekologičtějších a zároveň ekonomicky přijatelných způsobů výroby elektřiny a tepla. Účinnost KGJ se pohybuje mezi 80 - 90 %, navíc elektřina i teplo vznikají v místě své spotřeby, čímž odpadají náklady na rozvod energie i ztráty tímto dálkovým rozvodem způsobené. Teplo vznikající v KGJ bývá využito k vytápění budov, přípravě teplé užitkové vody nebo k přípravě technologického tepla v okolních objektech a firmách.

V kogeneračních jednotkách vzniká elektrická energie stejným způsobem jako v jiných elektrárnách, to je roztočením elektrického generátoru, a to pomocí pístového spalovacího motoru. Teplo, které se ve spalovacím motoru uvolňuje, je prostřednictvím chlazení motoru, oleje, plnicí směsi a spalín efektivně využíváno a díky tomu se dosahuje vysoké účinnosti KGJ. Protože se při použití kogeneračního způsobu výroby tepla a el. energie ušetří kolem 40 % paliva (viz. Obr.č.3.2), zatěžuje kogenerace z ekologického hlediska asi o totéž procento méně okolní krajinu. Kogenerace je tak v současné době jedním z nejekologičtějších a zároveň ekonomicky nejpríjemnějších způsobů výroby tepla a el. energie. V KGJ navíc v OKR využívají i plyn s koncentrací kolem 30%, pro který jinak není technické užití a který by mohl nekontrolovatelně vystupovat na povrch a způsobovat problémy (výbušná koncentrace metanu je 5-15%).



Obr. č. 3.2 Porovnání oddělené a kogenerační výroby elektrické energie a tepla

V této práci se budu zabývat využitím odpadního tepla KGJ využívajících důlní plyn (viz. Obr. č. 3.3). Tento způsob využití důlního plynu je v současné době označován jako jeho ekonomicky nejvýhodnější zhodnocení. Motory v KGJ jsou standardně konstruovány na zemní plyn, mohou však spalovat i jiná kapalná či plynná paliva.



Obr. č. 3.3 Schéma principu kogenerace s využitím důlního plynu

3.3 Kogenerační zařízení (viz. Obr. 3.4)

Kogenerační jednotka je energetické zařízení založené na principu společné výroby elektrické energie a tepla. Hlavní předností KGJ je, že energetické využití paliva je vyšší než u „klasické“ oddělené výroby el. energie a tepla. V našem případě jako palivo bude použit důlní plyn z hlubinných černouhelných dolů v ostravsko-karvinském revíru. Důlní plyn je klasifikován jako palivo s nízkou výhřevností, protože kromě metanu obsahuje nežádoucí složky (N_2 , CO_2 , O_2 , H_2O).

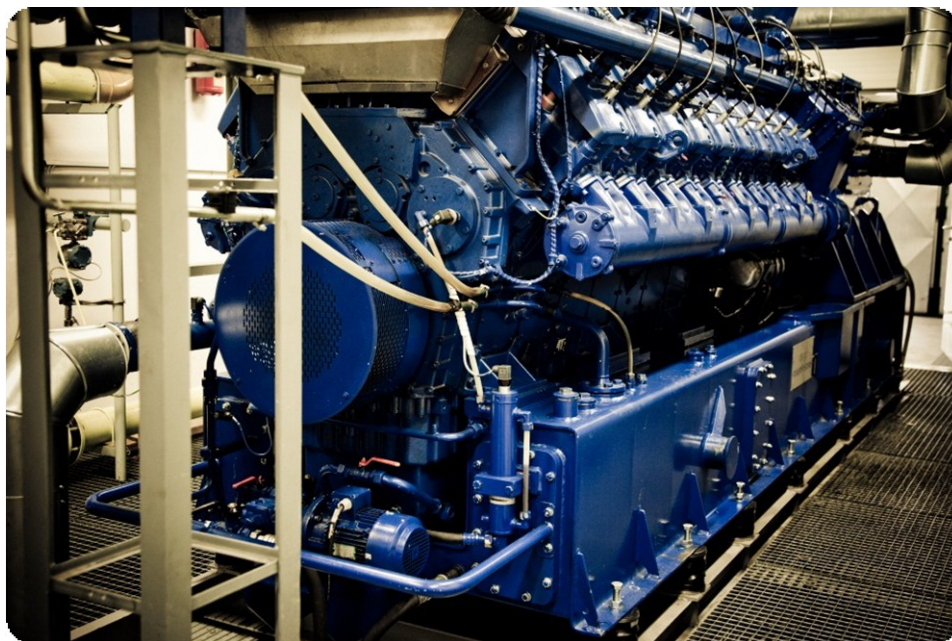


Obr. č. 3.4 Kogenerační jednotka na lokalitě Vrbice společnosti Green Gas DPB, a.s.

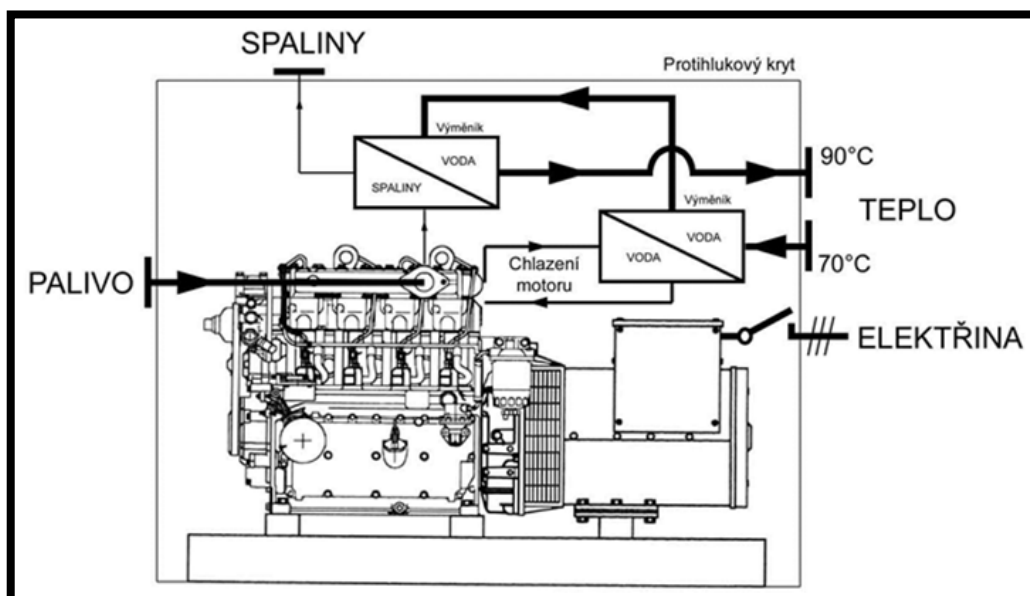
Kogenerační jednotka se skládá z přeplňovaného zážehového plynového motoru (viz. Obr. č. 3.5) pohánějícího generátor el. energie a výměníků pro využití tepla motoru. Generátor el. energie je dodáván pro nižší výkony asynchronní, pro vyšší synchronní. Teplo z KGJ je při chlazení motoru dodáváno obvykle na výstupu formou teplé vody o teplotě cca 90°C a na vstupu do motoru musí být snížena na hodnotu nižší než 75°C, aby proces chlazení probíhal optimálně. Teplota spalin na výstupu z motoru se pohybuje okolo 400°C - 600°C.

Základ jednotky tvoří soustrojí spalovací motor - elektrický generátor. Teplo se získává prostřednictvím výměníků tepla, které odnímají teplo z provozních kapalin (chladící kapalina, olej), ze spalin a u přeplňovaných motorů i z plnicí směsi. Pomocí absorpčního výměníku je možné vzniklé teplo využít k výrobě chladu pro technologické účely nebo klimatizaci. V takovém případě jde o trigeneraci, kombinované výroby el. energie, tepla a chladu, který by mohl být využíván k chlazení dolů. Trigenerace není zatím ve firmě Green Gas DPB, a.s. na žádné z provozovaných jednotek realizována.

Popis činnosti KGJ je takový, že důlní plyn je nasáván do směšovače a se vzduchem tvoří směs plynu, která je dále komprimována turbodmychadlem poháněným odcházejícími spaliny z motoru. Komprimovaná horká směs je v chladiči chlazena a dopravována do plynového spalovacího motoru. Teplo ze spalin a teplo z chlazení motoru je možno využít pomocí výměníků, zapojených sériově pro ohřev teplé užitkové vody. Pro možnost provozu KGJ jen s částečným využitím nebo zcela bez využití tepla, může být instalován nouzový chladič (u 3 KGJ z 23 není teplo využíváno vůbec).

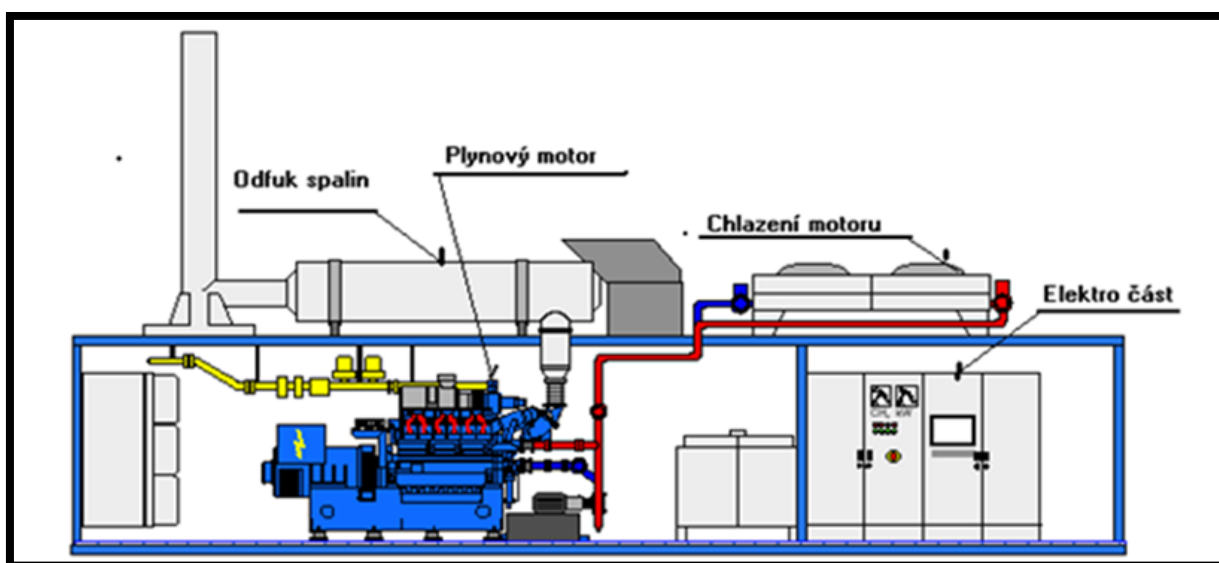


Obr. č. 3.5 Plynový spalovací motor KGJ

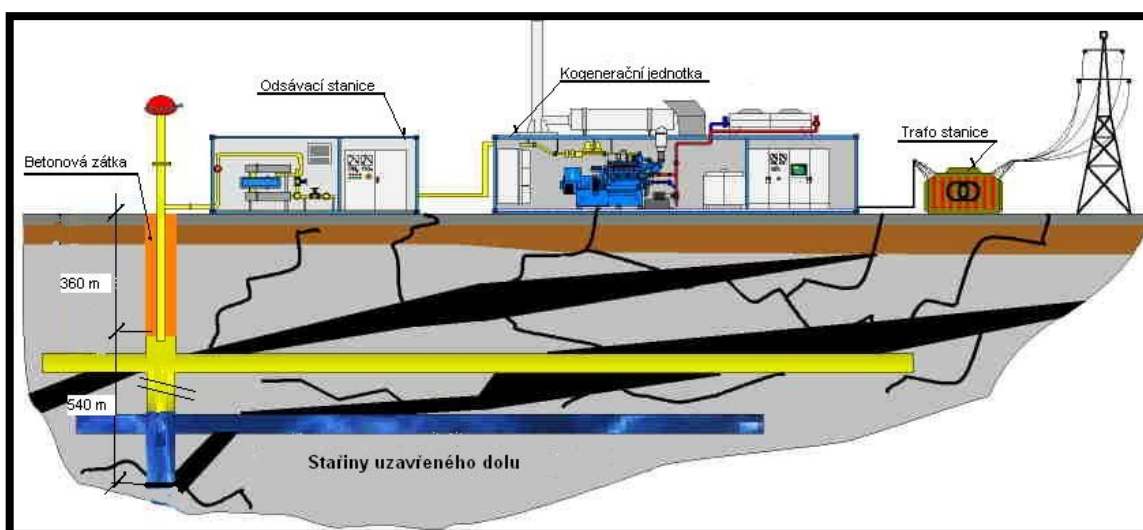


Obr. č. 3.6 Schéma principu KGJ

Z následujícího obrázku (viz. Obr. č. 3.7) lze vidět kontejnerové uspořádání KGJ, kde celá tato jednotka je umístěna v protihlukovém krytu. Toto uspořádání přináší řadu výhod, jakými jsou jednoduchá a rychlá instalace na danou lokalitu, kde je KGJ usazena na zpevněnou plochu. U těchto kontejnerů je poměrně jednoduchý transport na jinou lokalitu. Základní kontejnerová provedení jsou vyrobena na základě norem ISO a rozměrech cca 12m na délku, cca 3m na šířce a cca 3m na výšce (bez komínu pro odvod spalín). Součástí instalace KGJ je také trafostanice (viz. Obr. č. 3.8), v závislosti na lokálních podmínkách a na technických požadavcích dodavatele KGJ, může být využita stávající trafostanice dolu.



Obr. č. 3.7 Schéma KGJ s pístovým spalovacím motorem



Obr. č. 3.8 Schéma umístění KGJ na uzavřeném černouhelném dolu

KGJ může být provozována těmito způsoby:

- a) Dle odběrového diagramu elektrické energie - provoz KGJ je regulován dle denního odběrového diagramu elektrické energie (Je nutno upozornit na nadprodukcí tepla, které je nutno mařit na chladiči).
- b) Dle odběrového diagramu tepelné energie - provoz KGJ je regulován dle denního odběrového diagramu tepelné energie.
- c) Dle odběrového diagramu elektrické energie bez využití odpadního tepla - pro tento provoz je diagram výroby elektrické energie stejný a teplo v areálu je kryto ze stávající kotelny.
- d) KGJ pro využití důlního plynu mají za normálního stavu nepřetržitý provoz. Provoz není omezován z důvodu maximálního využití těženého plynu, protože tato výroba el. energie je podporována státem formou zelených bonusů nebo příplatků.

- **Modul teplárenské výroby elektřiny:**

Teplárenský modul je podíl elektrického výkonu k tepelnému výkonu zařízení. Z toho vyplývá, že čím větší je modul teplárenské výroby pro danou kogenerační technologii, tím se vyrobí více elektřiny při výrobě daného množství tepla.

$$\sigma = \frac{P_{el}}{Q_{tep}} \quad [-]$$

P_{el} – elektrický výkon KGJ

Q_{tep} – tepelný výkon KGJ

- **Účinnost výroby elektrické energie:**

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{Q_{pal}} * 100 \quad [\%]$$

Q_{pal} – tepelný příkon v palivu

- **Účinnost výroby tepelné energie:**

$$\eta_q = \frac{Q_{tep}}{Q_{pal}} * 100 \quad [\%]$$

- **Vztah pro výpočet celkové účinnosti kogenerační výroby :**

$$\eta_{\text{celk}} = \frac{P_{\text{el}} + Q_{\text{tep}}}{Q_{\text{pal}}} * 100 \quad [\%]$$

Tepelná a elektrická účinnost KGJ se spalovacím motorem se pohybuje v kolem 40%, celková účinnost KGJ je tedy 80-85%. Tepelným výkonem se rozumí součet tepelného výkonu z chlazení motoru, spalin a oleje. Vliv venkovních podmínek na účinnost spalovacích motorů není tak výrazný jako u plynových turbín. Se změnou nadmořské výšky o 100 m činí pokles elektrického výkonu o 1 %. Pokles účinnosti vlivem změny okolní teploty je asi 1 procento na 5,5 °C při teplotách nad 2°C.

Tab. č. 1 - Porovnání účinnosti jednotlivých typů zařízení vyrábějící elektrickou a tepelnou energii

Typ	podíl výroby el. en. a tepla	účinnost elektrická	účinnost tepelná	celková účinnost	el. výkon teplárny (MW)
s parními turbínami	0,24 - 0,34	0,12 - 0,23	0,60 - 0,67	0,72 - 0,80	0,15 - 100
se spalovacími motory	0,7 - 1,0	0,32 - 0,45	0,44 - 0,53	0,80 - 0,85	0,02 - 10
se spalovacími turbínami	0,5 - 0,8	0,23 - 0,36	0,36 - 0,48	0,68 - 0,75	2 - 100
Paroplynové	0,5 - 1,5	0,35 - 0,48	0,32 - 0,50	0,78 - 0,87	5 – 400

3.4 Typy kogeneračních technologií

- Kogenerační technologie jde rozdělit podle mnoha hledisek. Základním prvkem, určujícím typy kogeneračních technologií, jsou primární jednotky, které dělíme na:
 - a) kogenerační jednotky se spalovacími motory (viz. Obr. č. 3.5)
 - b) kogenerační jednotky se spalovacími turbínami
 - c) kogenerační jednotky s parními turbínami (viz. Obr. č. 3.9)
 - d) kogenerační jednotky s motory stirling



Obr. č. 3.9 Kogenerační jednotka s parní turbínou STG I pracující v podmínkách ŽDB, a.s.

- **Kogenerační technologie jde dále dělit podle:**

- a) použitého primárního paliva
- b) maximálního dosažitelného výkonu
- c) způsobu instalace
- d) účelu využití
- e) samotné technologie a efektivnosti KJ

Každá kogenerační jednotka může pracovat s určitým typem paliva. Pokud pracuje s více druhy paliv a ty patří jak do skupiny obnovitelných zdrojů a i do skupiny neobnovitelných zdrojů, nazývá se taková jednotka hybridní. Podle fyzikálního rozdělení se může jednat o palivo pevné, kapalně, plynné. Podle primárního paliva jde kogenerační technologie rozdělovat na ty, které pracují s obnovitelnými zdroji. Obnovitelné primární zdroje jsou nefosilní zdroje energie (sluneční energie, geotermální energie, biomasa).

Kogenerační jednotky, které pracují s neobnovitelnými zdroji spotřebovávajícími fosilní paliva (kromě plynu z uzavřených dolů, který byl podle zákona 180/2005 přiřazen k obnovitelným zdrojům). Jejich zásoba se ale neustále zmenšuje. Maximální dosažitelný výkon je jistě hlavní hledisko při výběru jednotky. Kogenerační jednotky mají široké výkonové rozmezí od 1 kW do 500 MW elektrické energie. [7]

- **Výkonová hladina definuje kogenerační výrobu jako:**
 - a) mikro-kogenerace (do výkonu 50 kW)
 - b) mini-kogenerace (do výkonu 500 kW)
 - c) kogenerace malého výkonu do 1 MW
 - d) kogenerace středního výkonu do 50 MW
 - e) kogenerace velkého výkonu nad 50 MW

- **Dělení dle účelu použití slouží k rozdělení kogenerační technologie na základě způsobu aplikace do distribučního systému budovy. Jedná se pokrytí výkonu:**
 - a) záložního
 - b) základního
 - c) špičkového
 - d) rezervního
 - e) specifického

- **Ve způsobu instalace existují tři základní varianty:**
 - a) kapotované provedení: Vhodné pro instalaci do budov. Vynikají nízkou hlučností, jednoduchostí a rychlostí instalace.
 - b) modulové uspořádání: Používá se u zařízení větších výkonů, výhodou je vysoká variabilita a možnost přizpůsobení. Jedná se o oddělení tepelného modulu a modulu generátoru.
 - c) kontejnerové provedení: Určeno pro instalaci mimo obytné a průmyslové budovy (většina instalací v Green Gas DPB, a.s.).

3.5 Uplatnění kogeneračních jednotek v podmínkách Green Gas DPB, a.s.

Záměrem firmy Green Gas DPB a.s. bylo využít část důlního plynu, z činných a uzavřených dolů OKR (Ostravsko-karvinský revír), o nižší koncentraci metanu (28-50%) pro kogeneraci, jelikož tento plyn nemohl být dále použit pro dodávky odběratelům a musel být vypouštěn do ovzduší. Tak vznikl projekt o vybudování 23 KGJ k 1.1.2013 (viz. příloha č.1), o celkovém instalovaném výkonu 30,1 MW el. energie a 30,7 MW tepelné energie, z toho je 14 KGJ použito na uzavřených dolech a 9 na činných. Celkově se za rok v KGJ spotřebuje 60mil. m³ 100% metanu a vyrobí se 220tis. MWh el. energie.

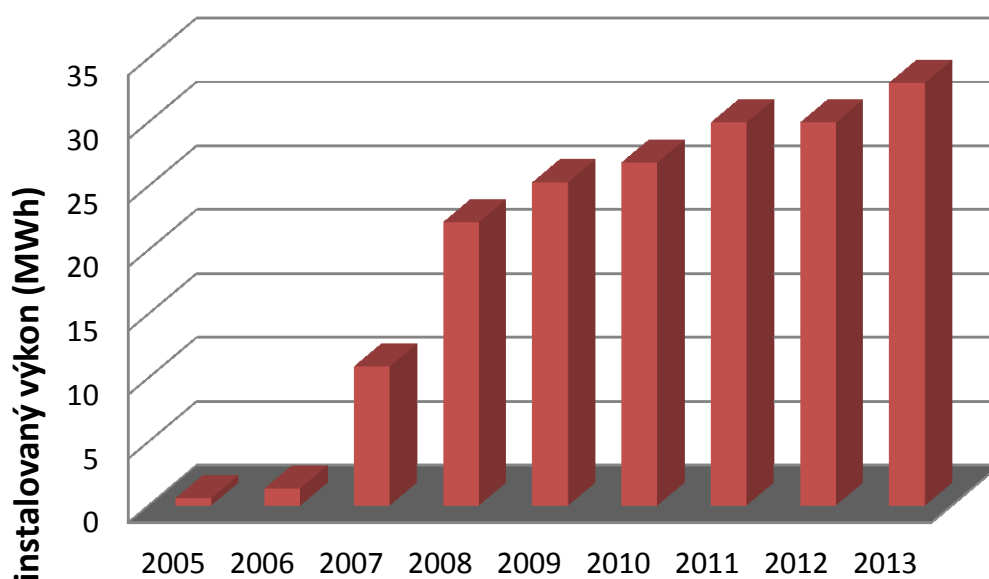
První KGJ byla nainstalována na lokalitě Vrbice, v roce 2005, řady Tedom Quanto SP CON o výkonu 580kW. V současnosti se takto plyn využívá na 15 lokalitách v OKR a jsou na nich instalovány KGJ o výkonech 0,4-2 MWe. Výběr lokalit, upřednostňoval lokality v blízkosti zdroje důlního plynu (tj. těžební stanice důlního plynu) a v dosahu vlastního distribučního plynovodu. Další preferencí bylo využití tepla a situování stavby v co nejmenší vzdálenosti od odběratelů což jsou hlavně kotelny a výměňkové stanice. Postupná výstavba KGJ vedla k nutnosti vytvořit samostatné energetické dispečerské pracoviště, které řídí jejich provoz, dodávky el. energie do sítě a dodávky tepla odběratelům.

V rámci tohoto projektu byla vytvořena typizovaná řada KGJ o výkonu 1,6 MW s partnerskou firmou Green Gas Germany GmbH, která disponuje „know-how“ v oblasti projektování, provozu a údržby kogeneračních jednotek na základě dvaceti letých zkušeností v Německu a ve světě. Tato typizace usnadní provádění servisních prací, umožní vyšší produkci el. energie a umožní jejich snadné přemístění na novou lokalitu. Tyto KGJ na základě výběrového řízení dodala firma Tedom, a.s. V podmínkách této společnosti jsou v provozu KGJ o výkonech 0,4 – 2 MW el. energie.



Obr. č. 3.10 Sušící zařízení plynu - Siloxa

Ke zlepšení provozu KGJ bylo nutno na lokalitách, kde plyn obsahuje vyšší procento vlhkosti, instalovat tzv. sušící zařízení Siloxa (viz Obr.3.11.). Jeho princip spočívá v ochlazení plynové směsi a tím dojde k odloučení kondenzátu z plynu a částečně i prachu. Projekt výstavby KGJ o výkonu 30 MW el. energie patří v oblasti kombinované výroby tepla mezi nejzajímavější ve střední Evropě. Zajišťuje zvýšení bezpečnosti v oblasti důlní činnosti, ochrany životního prostředí snižováním emisí vypouštěných do ovzduší a ke zvýšení energetické efektivity využíváním obnovitelných a druhotných zdrojů energie.

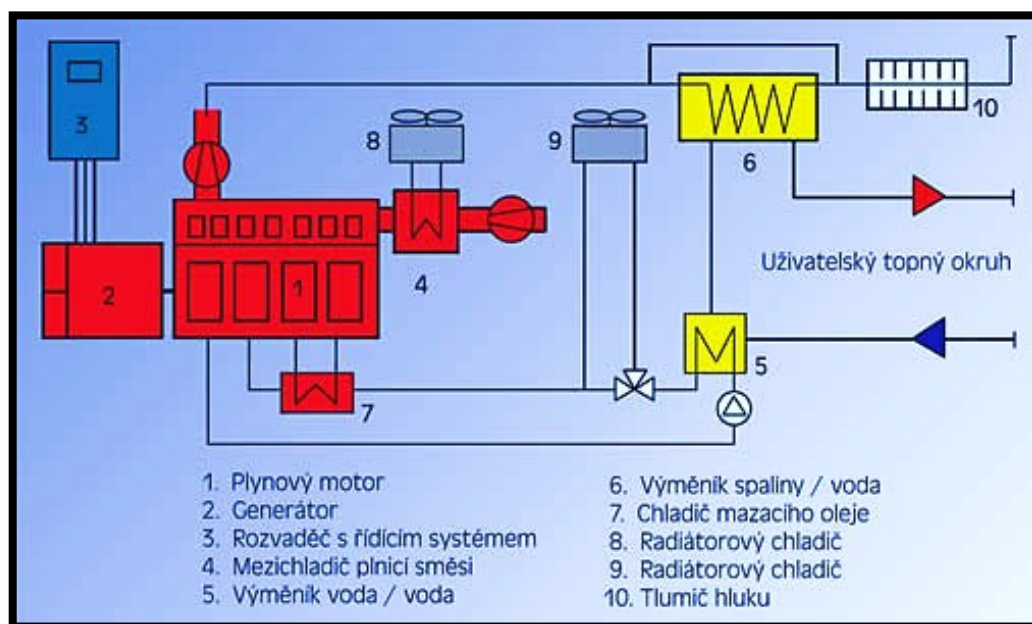


Graf č. 1 Vývoj instalací KJ 2005 - 2013 v podmínkách Green Gas DPB, a.s.

3.6 Rozdělení tepelného systému KGJ:

Primární okruh chlazení motoru (viz. Obr.3.11):

Teplo získané chlazením oleje prvního stupně chlazení plnicí směsí a vodního pláště motoru a následně chlazením spalin na spalinovém výměníku je odváděno na výměník kapalina/kapalina. Tento okruh je tlakový, naplněný směsí ethylenglykolu a vody. Cirkulaci primárního okruhu zajišťuje primární čerpadlo. Ochranu proti nízké teplotě zajišťuje soustava elektrických topných těles. Objemová roztažnost kapaliny je kompenzována použitím expanzí nádoby. Ochrana okruhu proti nedovolenému tlaku je zajištěna pojistným ventilem. Vzhledem k požadavkům na zajištění provozuschopnosti KGJ bez ohledu na využití tepla je tento okruh vybaven nouzovým chlazením, které zajišťuje odvedení tepla z primárního okruhu na chladicí jednotku. Teplotní stabilitu zajišťuje čerpadlo nouzového chlazení a trojcestný ventil.



Obr. č. 3.11 Primární okruh chlazení motoru KGJ

Technologický okruh chlazení motoru:

Představuje okruh chlazení plnicí směsi spalovacího motoru, tedy spalovaného vzduchu a plynu. Teplotní úroveň kapaliny tohoto okruhu bezprostředně ovlivňuje vychlazení plnicí směsi spalovacího motoru a tím dosažení základních technických parametrů kogenerační jednotky. V případě nedostatečného vychlazení dochází ke snížení výkonu motoru. Teplo získané chlazením druhého stupně chlazení plnicí směsi je vyvedeno na chladicí jednotku.

Chlazení prostoru kontejneru:

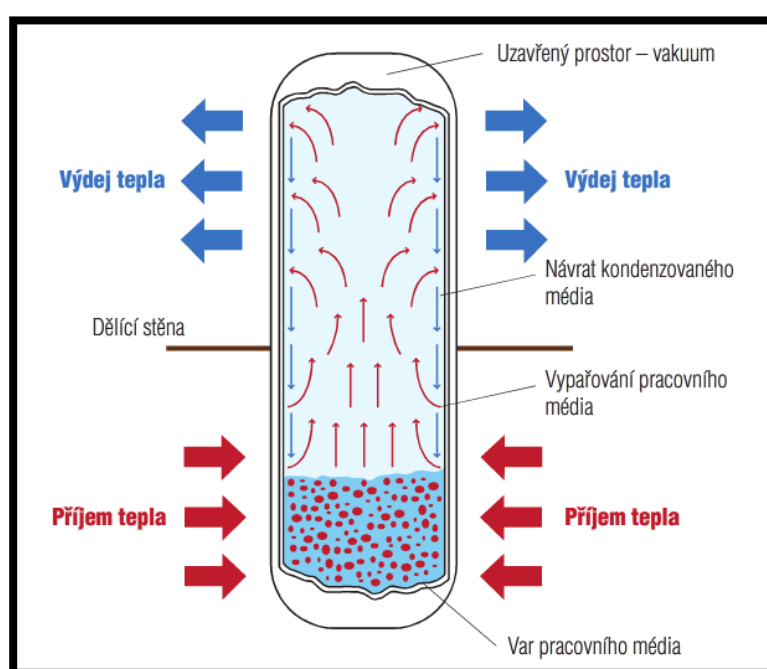
Teplo vyzářené z horkých částí motoru a technologie vnitřního prostoru kontejneru je pomocí ventilačního vzduchu odvedeno mimo kontejner a není nijak využíváno. Pro zajištění požadované teploty v kontejneru slouží frekvenční regulace otáček ventilátorů v závislosti na teplotě v kontejneru. V praxi velká část výroby tepelné energie u KGJ je v současné době nevyužita (cca 70%) a musí být odváděna do vlastního okolí. To je zejména způsobeno provozem na maximální výkon po celý rok. To vede k zamyšlení nad dalším způsobem využití tepla a zvýšení celkové účinnosti zařízení.

3.7 Možnosti využití (odpadního) tepla z KGJ:

a) Využití odpadního tepla pro vytápění

Je nejčastější způsob využití odpadního tepla KGJ. Teplo je dodáváno do kotlen v blízkosti KGJ k ohřevu TUV a vytápění budov. Teplo je z jednotky vyvedeno teplovodním potrubím napojeným na sekundární okruh a je přivedeno do výměňkové stanice. Primární předávací stanice je prostředník mezi rozvodnou sítí a zdrojem tepla. Tato stanice je umístěná v objektu zdroje tepla a slouží k transformaci tepla z jednoho nositele tepelné energie na druhý. U KGJ se spalovacím motorem je možno vyrobit páru ve výměníku tepla spaliny/pára.

Speciální výměníky tepla pro recyklaci odpadního tepla spalin:



Obr. č. 3.12 Schéma principu horké trubice

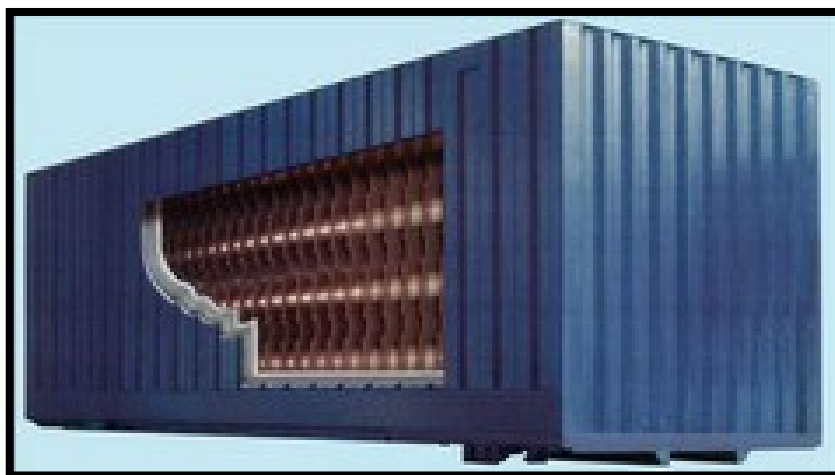
Novinku na trhu pro recyklaci odpadního tepla spalin nabízí firma GB Consulting. Využití odpadního tepla spalin, pomocí výměníků nové generace, které využívají technologie horkých trubice, tzv. „HEAT PIPES“ (HP). Základní princip této technologie spočívá v tom, že tepelné trubice tvoří samostatný uzavřený okruh, ve kterém probíhá velmi rychle výměna tepla pomocí odpaření a následné kondenzace pracovní kapaliny (viz. Obr. č. 3.12). Patentované výměníky typu HP nabízejí řadu výhod ve srovnání s dosud známými technologiemi klasických výměníků, kterými jsou např. vyšší životnost, širší uplatnění, vyšší spolehlivost a nižší provozní náklady.

b) Využití tepla pomocí kontejnerových zásobníků tepla (viz. Obr. č. 3.13)

Tyto zásobníky tepla, vyrábí německá firma La Therm GmbH, pracují na bázi skryté tepelné energie v chemickém roztoku, kdy se tato energie uvolňuje při změně jeho skupenství z kapalné na pevnou.

Rozměry zásobníku:

Klasický kontejner ISO 1C, půdorysné rozměry 2,4 x 6 m., výška 2,6 m.



Obr. č. 3.13 Řez tepelným zásobníkem – La Therm

Plnění zásobníku:

Plnění je prostřednictvím teplé vody, která proudí v potrubním systému a způsobuje přeměnu skupenství teplotnosné látky. U kogenerační jednotky může být využita sekundární strana tepelného výměníku s oběhovým čerpadlem. Vstupní teplota vody pro plnění zásobníku je 90 – 100°C. Doba plnění zásobníkového kontejneru trvá kolem 10 hodin a teplota topné vyprazdňovací vody se pohybuje kolem 40°C.

Vyprazdňování zásobníku:

Využití tepla ze zásobníku je pomocí vodního okruhu napojeného na straně kontejneru na příruby topné a zpětné větve. Na straně topné (u odběratele) je vodní okruh uzavřen tepelným výměníkem s uzavíracími armaturami a oběhovým čerpadlem. Vyprázdnění kontejneru trvá 24-30 hodin. Využitím zásobníků tepla je možno zvýšit tepelnou účinnost kogenerační jednotky. Použití kontejnerů je podle výrobce efektivní pro využití odpadního tepla z elektráren nebo užitečného tepla z kogeneračních jednotek. Pomáhá zvýšit celkovou účinnost tak, aby provozovatel mohl

pobírat příspěvek dle zákona. Nevýhodami jsou omezená kapacita, která je jen 2,5 MWh tepelné energie, dále pak vysoká cena zařízení (100 tis. EUR) a náklady na případný převoz.

Využití zásobníkových kontejnerů:

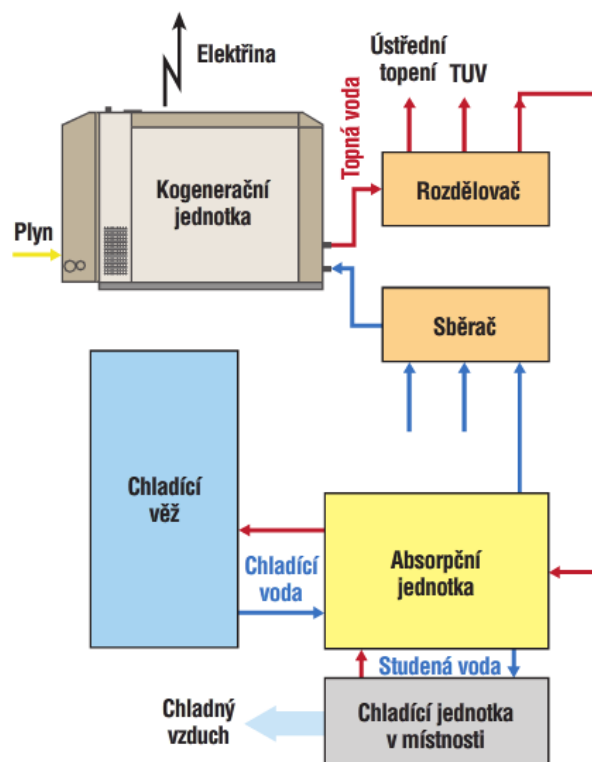
- Využití odpadního tepla z tepelných elektráren, spaloven biomasy a kogeneračních jednotek.
- Na roční vytápění standardního rodinného domu je potřeba 25MWh, což představuje cca 10 kontejnerů.



Obr. č. 3.14 Využití kontejnerových zásobníků La Therm pro vytápění bazénu - Německo

c) Využití tepla k výrobě chladu (absorpční chlazení)

Předností absorpčního chlazení ve srovnání s chlazením kompresorovým je to, že si vystačí s méně ušlechtilou, a tedy i levnější vstupní energií tepelnou, oproti dražší vstupní energii elektrické u chlazení kompresorového. Absorpční chlazení je tiché, jednoduché a spolehlivé. Nevýhodami jsou především vyšší investiční náklady oproti kompresorovému chlazení, větší rozměry a hmotnost.



Obr. č. 3.15 Schéma zapojení absorpčního chlazení

Základním principem sorpčních oběhů (viz. Obr. č. 3.15) je nahrazení komprese tepelným pochodem, ve kterém se chladivo za nízkého tlaku pohlcuje vhodnou látkou (absorbentem). Poté je dopravováno do dalšího výměníku, který pracuje za vyššího tlaku a zde se chladivo přívodem tepla do systému znovu uvolňuje. Výsledkem je chladivo s vyšším tlakem, který odpovídá podmínkám kondenzace. Děj v kondenzátoru a výparníku je obdobný jako při parním oběhu.

Absorpční chlazení má tři okruhy, mezi kterými probíhá výměna tepla. První je okruh topné vody, která je hnacím médiem vnitřní výměny tepla. Tento okruh je napojen na zdroj tepla, v našem případě kogenerační jednotku. Druhý okruh je okruh studené vody, který je napojen přímo na okruh chlazení, podobně jako ústřední topení, ale místo teplé vody proudí voda studená, která pak v místnostech ochlazuje vzduch a odvádí se jím teplo z prostoru. Třetím okruhem je okruh chladicí vody, který odvádí vodu s teplem k ochlazení.

Vychlazení se provádí nejčastěji pomocí chladicích věží. Na teplotu v okruhu topné vody má rozhodující vliv velikost chladicího zařízení, která tím zásadně ovlivňuje jeho pořizovací cenu. Většina průmyslově vyráběných zařízení pracuje s teplotami přibližně od 90 do 135°C. Okruh studené vody pracuje s teplotami potřebnými pro odvod tepla z prostoru, které se pohybují od 7 do 15°C. Okruh chladicí vody, která odvádí teplo z chladicího zařízení, mívá teploty 20 až 45°C.

d) Využití tepla k sušení dřeva a rostlinných komodit

Umělé sušení dřeva je technologický proces, vyžadující dodávku tepla ve formě teplé vody nebo páry, a to v závislosti na typu a provedení sušárny. Převážně se v současnosti používá teplovodní provedení. Umělé sušení se liší od přirozeného tím, že do sušárny je přiváděn teplý vzduch ventilátorem a teplota sušícího vzduchu je vyšší, než běžná venkovní teplota při přirozeném sušení. Teplota vzduchu se používá do 100°C, ale mohou být také jiné typy sušáren, např. kondenzační, vakuové nebo vysokofrekvenční.

Komorová sušárna řeziva je v podstatě stavební objekt, který by se měl nacházet v blízkosti KGJ. Převážně se používají konstrukce z tepelně izolačních panelů (PUR), které jsou z vnitřní i vnější strany kryty hliníkovým plechem. Sušárna dále obsahuje tepelný výměník voda/vzduch pro vytápění sušárny, oběhové a vzduchové ventilátory, suchý a mokrá teploměr a vlhčící trysky pro udržování optimální vlhkosti. Případná nadměrná vlhkost se reguluje přiváděním méně vlhkého venkovního vzduchu.

K dalším možnostem využití odpadního tepla patří dosoušení rostlinných komodit. Specialistou na tato zařízení je německá firma Stela-Laxhuber GmbH, která je zaměřena výhradně na stroje pro sušení zrnin, obilovin, pilin, dřevní štěpky, ovoce, zeleniny apod. To ji umožňuje koncentraci sil na technický rozvoj a z hospodárnění výroby. Sušičky této firmy jsou vyráběny z tvrzeného hliníku, příp. pozinkované nebo ušlechtilé oceli. Životnost těchto sušiček je 30-50 let, dělí se na stacionární nebo mobilní.



Obr. č. 3.16 Mobilní pásová sušička – Stela WBT

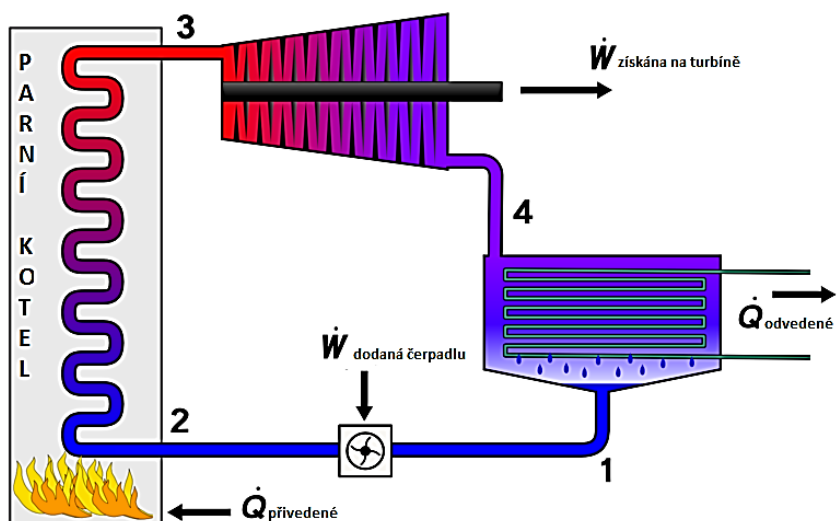
e) Využití tepla k výrobě elektrické energie

Odpadní teplo vzniká při řadě technologických procesů v nejrůznějších průmyslových oblastech. I když je druhotné teplo pro původní technologii nevhodné, lze je transformovat na využitelnou formu energie. Takto přeměněná energie může být náležitě využita v mnoha aplikacích, jako je ohřev užitkové vody, vytápění, předehřev spalovacího vzduchu, výroba elektrické energie aj., čímž se zefektivní daný technologický proces. Podle západoevropských studií lze reálně, pouhým využíváním odpadního tepla, v České republice získat až 1 GW el. výkonu, a to při minimálních nákladech.

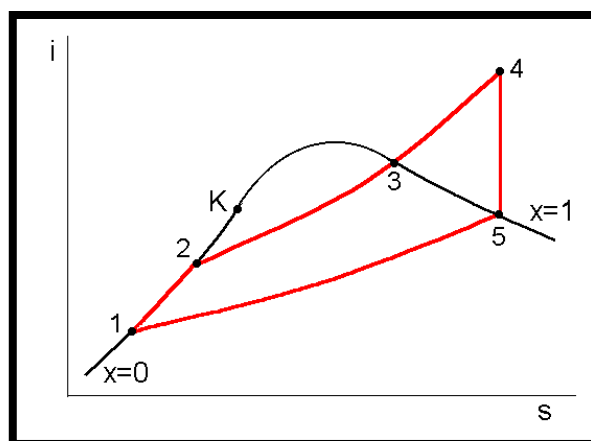
Ať už mluvíme o jakémkoliv způsobu využití druhotného (odpadního) tepla, všechny tyto metody nepochybně vedou k úsporám energie. Jednou z perspektivních možností je tedy využití odpadního tepla k výrobě elektrické energie nejen u budoucích, ale především u stávajících provozů, např. v případě již zmíněné technologie ORC. [8]

4. Organický Rankinův cyklus**4.1 Rankin-Clausiův parní cyklus**

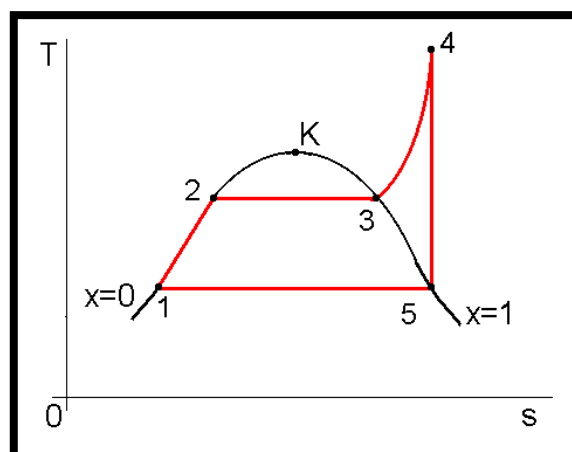
Je teoretickým uzavřeným oběhem, kde jsou využívány změny pracovní látky (vody), která v průběhu cyklu mění své skupenství. V klasických tepelných elektrárnách je energie tepelná transformována na mechanickou v tepelném oběhu (viz. Obr. 4.1). Tento elektrárenský kondenzační cyklus, ve své podstatě složený ze základních termodynamických změn, používá jako pracovní látku vodu resp. vodní páru. Voda na mezi sytosti, která je přivedena napájecím čerpadlem do parního kotle, se v něm ohřívá, odpařuje (mění skupenství) a v parním přehříváku dosahuje parametrů tzv. admisní páry (tlak cca 14,5MPa, teplota cca 530 °C), která je přivedena do parní turbíny. V parní turbíně pára expanduje (přehřátá pára přechází do oblasti syté páry) a následně mění své skupenství v kondenzátoru, odkud je v kapalném stavu kondenzačním čerpadlem dopravována přes zásobní nádrž a případné doplnění zpět do parního generátoru. Termická účinnost takového cyklu se u nejmodernějších elektráren pohybuje na úrovni cca 38%. Ke zvyšování termické účinnosti se zpravidla používá regenerace tj. ohřev napájecí vody v regeneračních ohřívácích mimo vlastní kotel nebo přehřívání páry (omezeno používanými materiály, maximální admisní tlak 15MPa).



Obr. č. 4.1 Rankin-Clausiusův parní cyklus



Graf č. 2 – i-s diagram Rankin-Clausiova cyklu



Graf č. 3 – T-s diagram Rankin-Clausiova cyklu

Popis termodynamických změn v R-C cyklu:

- 1-2 Napájecí voda se „tlakuje“ do oběhu napájecím čerpadlem a voda se v ohříváku ohřívá do stavu sytosti.
- 2-3 Ve výparníku probíhá izobaricko - izotermická přeměna syté vody na sytou páru.
- 3-4 V přehříváku páry se pára izobaricky přehřívá na vyšší teplotu.
- 4-5 Probíhá adiabatická expanze páry v turbíně.
- 5-1 V kondenzátoru pára izobaricko izotermicky kondenzuje.

Vztah pro výpočet termické účinnosti R-C cyklu:

$$\eta_t = \frac{a_0}{q_a} = 1 - \frac{|q_b|}{q_a} = 1 - \frac{i_2 - i_3}{i_1 - i_4} \cdot 100 \quad [\%]$$

4.2 Organický Rankinův cyklus

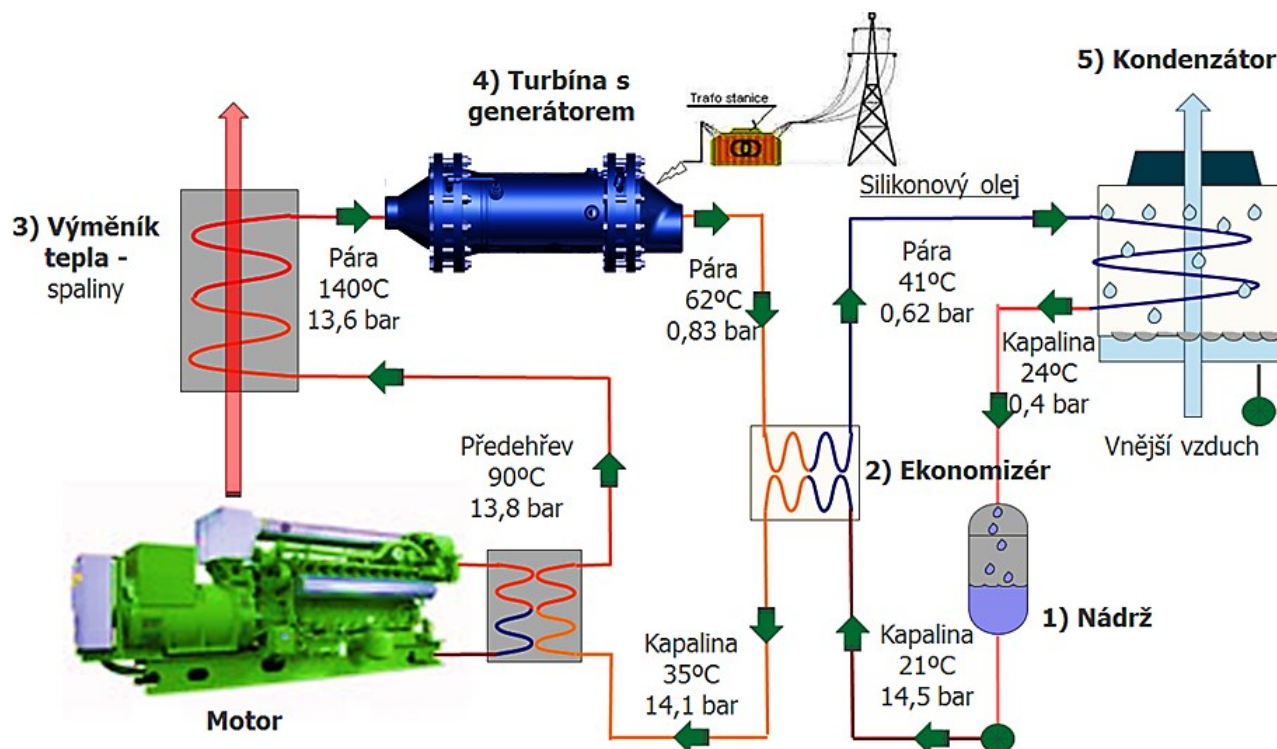
S prvním prototypem motoru, který využívá ORC, přišli v roce 1962 izraelští inženýři Harry Zvi Tabor a Lucien Bronicky, zabývající se solární energií. ORC je pouhou modifikací známého elektrárenského Rankine-Clausiova parního cyklu, který vynalezli už v polovině 19. století Skot William John Macquom Rankine a Němec Rudolf Clausius.

Systém pracuje na stejném principu jako klasický RC cyklus, ale liší se pracovním médiem. Namísto vody, resp. vodní páry pohánějící turbínu, se v ORC používá vhodná organická kapalina, např. pentan, toluen, silikonový olej apod. Díky svým termodynamickým vlastnostem je vhodná pro aplikaci v tepelném oběhu. Mezi hlavní výhody můžeme řadit především nižší teplotu odpařování při pracovních tlacích. Z toho vyplývá, že zařízení je možno provozovat již kolem teploty 120°C a nabízí se tak možnost využít odpadní teplo. Další výhodou je, že olejová pára nepoškozuje turbínu a nesnižuje její elektrický výkon tak jako vodní pára.

4.3 Princip a funkce ORC (viz. Obr. č 4.2)

ORC je v podstatě elektrárenský Rankine-Clausioův cyklus, který používá namísto vody resp. vodní páry jako pracovní látku v primárním okruhu směs organických sloučenin (silikonový olej), které jsou svými termodynamickými vlastnostmi vhodné k použití v tepelném oběhu. Organické látky použité jako náhrada vody v sekundárním tepelném oběhu musí samozřejmě splňovat přísné

předpisy a normy ve vztahu k životnímu prostředí. Nahrazení organickou látkou tak umožňuje průběh termodynamických dějů oběhu při nižších teplotách tepelného zdroje (min. 120°C)



Obr. č. 4.2 – Schéma ORC

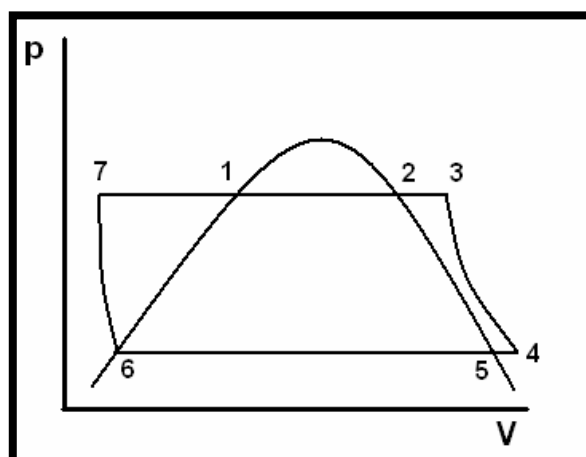
V současné době se ORC systémy dodávají většinou jako standardizované moduly o elektrických výkonech řádově od stovek kWe do několika MWe a to v aplikacích pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla z biomasy, pro zdroje s geotermální energií, ve spojení se solární technologií a při využití odpadního tepla. Nabízí se využití u dřevozpracujících provozů k sušení řeziva, kde je kotelná přímo u zdroje paliva. [10]

Pracovní látka (silikonový olej) v kapalném stavu se na počátku cyklu nachází v nádrži, odkud je dopravována čerpadlem do ekonomizéru. Zde dochází k jejímu předehřevu nízkotlakou parou vystupující z turbíny. Dále pracovní kapalina vstupuje do výparníku, kde teplotnosné medium (může to být nízkotlaká pára, spaliny, olej, či jiná teplotnosná media) předává odpadní teplo pracovní látce, ta se vypařuje a vyvíjejí se silikonové páry. Ty proudí přes separátor (cyklonový odlučovač), sloužící k odstranění kapiček z proudícího plynu, do turbíny, kde expandují. Na turbíně dojde k přeměně přivedené energie proudící páry na energii mechanickou, která se následně transformuje na energii elektrickou na generátoru, s nímž je turbína spojena. Elektrická energie vygenerována na turbíně je díky výkonové elektronice dodávána do sítě. Nízkotlaká pára

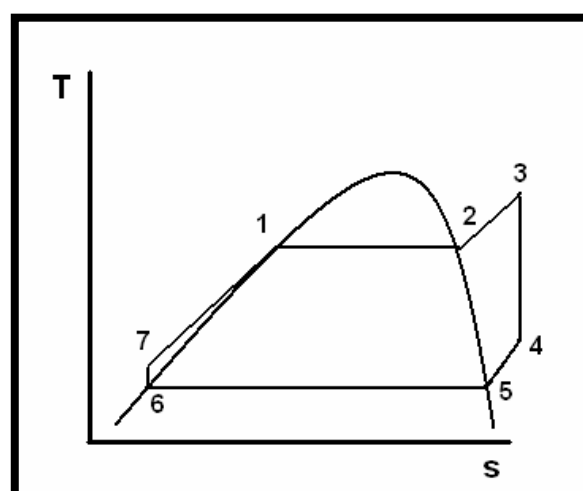
je vedena přes ekonomizér do kondenzátoru, kde kondenzuje, po odebrání výparného tepla chladicí vodou, která pak dodává teplo do objektů připojených na tuto tepelnou síť. Pracovní látka se z kondenzátoru odvádí zpět do nádrže, tím je cyklus uzavřen a může se znovu opakovat.

Popis termodynamických změn v ORC cyklu:

- 1-2 V bodě 1 je pracovní látka ve stavu syté kapaliny. Ve výparníku je jí dodáván teplo a začíná vypařování. Ze stavu syté kapaliny do stavu mokré páry a její vlhkost postupně klesá, až dosáhne stavu syté páry v bodě 2. Tento děj probíhá za konstantní teploty a tlaku a je tedy izotermicko-izobarický.
- 2-3 Z bodu 2 do bodu 3 je látce dodáváno teplo, její teplota se zvyšuje za stálého tlaku (izobarický děj) a látka se dostává do stavu přehřáté páry.
- 3-4 Pracovní látka vstupuje do turbíny a prochází adiabatickou expanzí. Rotor turbíny se roztáčí a výstupní práce se přes elektromagnetický generátor přeměňuje na elektrickou energii.
- 4-5 Po opuštění turbíny prochází pracovní látka ekonomizérem, kde se využívá její zbytková tepelná energie. Ta je dodávána přes tepelný výměník ochlazené pracovní látce v kapalném stavu. Děj je izobarický a pracovní látka přechází ze stavu přehřátého vzduchu na sytou páru.
- 5-6 U pracovní látky vstupující do kondenzátoru, probíhá izobaricko-izotermický odběr tepla. Vlhkost pracovní látky roste přes oblast mokré páry do bodu 6, kde se stává sytou kapalinou.
- 6-7 Pracovní látka prochází čerpadlem, kde výrazně roste její tlak, ale její entropie se nemění. Tento děj se nazývá adiabatická komprese.
- 7-1 Kapalná pracovní látka je po kompresi ohřívána pomocí ekonomizéru, poté vstupuje opět do parního generátoru, kde se dále ohřívá až na křivku syté kapaliny v bodě 1.



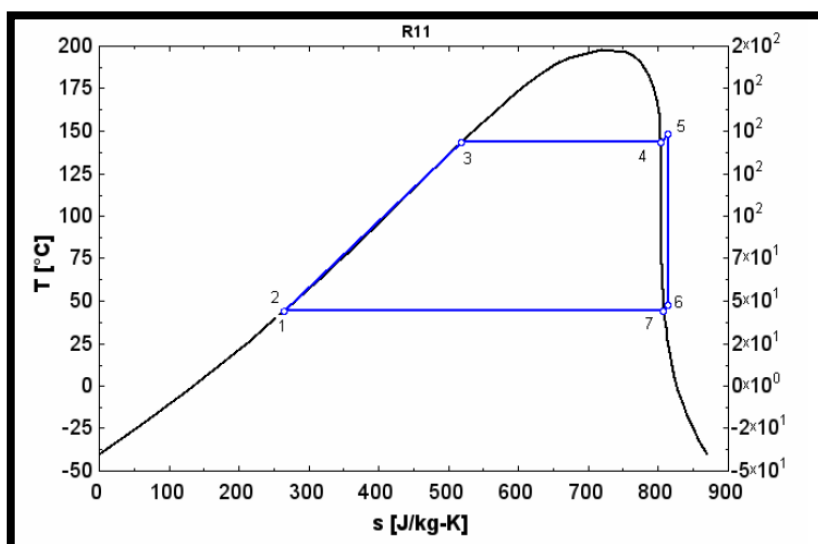
Graf č. 4 – p-V diagram ORC s regeneračním ohřevem



Graf č. 5 – T-s diagram ORC s regeneračním ohřevem

Pracovní látka:

Výběr správné pracovní látky s sebou nese důležitou roli ve funkčnosti celého oběhu a značně ovlivňuje celkovou účinnost zařízení. Důležitým znakem látky je křivka její syté páry. Optimální případ je uveden na Obr. č. 4.4 pro pracovní látku s označením R11. Křivka syté páry jde paralelně s křivkou izoentropické expanze. Nežádoucím případem pak může být, že se látka při expanzi dostane do stavu mokré páry a to s sebou nese riziko poškození lopatek turbíny vlivem narážejících kapek. Opačný extrém může nastat, když se diagram pracovní látky dostane příliš daleko od křivky syté páry, která musí být chlazená. V tomto případě je pro chlazení možné využít tzv. regenerátor, který odvedené teplo může později použít v tomto cyklu. Konkrétních druhů pracovních látek používaných pro ORC je velké množství. Mezi ty nejpoužívanější patří tyto: R123, R124, R152a, R600, RE134, RE245, benzen, toluen, izopentan, n-pentan, alkylbenzeny, propylen, amoniak atd.



Graf č. 6 – T-s diagram ORC s optimálním průběhem křivky syté páry

Celkový počet termodynamických dějů závisí na složitosti systému ORC. Jejich počet může zvyšovat např. regenerátor, nebo také mezi ohřev páry, který se používá mezi jednotlivými stupni turbíny a slouží k udržení pracovní látky déle mimo stav mokré páry, aby nedocházelo k poškození lopatek turbíny. Mezi ohřev zvyšuje termickou účinnost cyklu, nevýhodou je složitost tohoto zařízení.

4.4 Výhody a nevýhody ORC

- Výhody:

- + Systém dokáže využít teplo s relativně nízkou teplotou
- + Vysoká pracovní spolehlivost při nízkých provozních nákladech
- + Jednotlivá pracovní média není třeba upravovat
- + Životnost tlakových dílů je až dvojnásobná oproti parní turbíně
- + Turbína má nižší otáčky, což umožňuje přímý pohon generátoru
- + Oproti parní turbíně mají lopatky nižší opotřebení z důvodu nepřítomnosti vodních kapiček
- + Nenáročnost na obsluhu zařízení
- + Nízká hlučnost
- + Vlivem nižších tlaků a teplot dosahuje delší životnosti oproti parovodním zařízením
- + Pracovní médium není korozivní

- Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady
- Menší zkušenost s tímto systémem
- Oproti parnímu rankinově cyklu je potřeba přídavný olejový cyklus
- Pracovní média jsou vesměs hořlaviny
- Vysoké nároky na těsnost systému
- Nízká účinnost oproti parnímu cyklu

Tab. č. 2 – Porovnání teplot vypařování při určitém tlaku v ORC a RC cyklu

Tlak	Voda	Silikonový olej
1 bar	100°	120°
19,6 bar	212°	121°

4.5 Uplatnění ORC v podmínkách Green Gas DPB, a.s.

Cílem této práce je využití tepla z procesu kogenerace v místech, kde není možné využít tepelnou energii ze spalovacího motoru k dodávkám tepla pro konečné odběratele a tepelná energie je z velké části mařena. K tomuto stavu dochází v situacích, kdy je kogenerační jednotka instalována v blízkosti zdroje plynu, většinou uzavřených jam a náklady na výstavbu teplovodu do místa spotřeby by byly nákladné a celý projekt by byl neefektivní.

Jako vhodné místo, k nasazení zařízení využívající ORC k výrobě elektrické energie z odpadního tepla KGJ, se vybrala lokalita na Františku. Zde by bylo možné napojení na zdroj odpadní tepla, z výfukových plynů nebo z chlazení motoru dvou KGJ typu TEDOM Quanto D 1600 SP, situovaných na jednom místě (viz. Obr. č. 4.8). V těchto KGJ se nachází spalovací plynové motory o výkonu 2x1,6MW. Počet provozních hodin za rok je cca 8000. Teplo z těchto KGJ je pouze v malém množství využito a to pro vytápění přilehlých objektů na této lokalitě. Na této lokalitě se nachází ještě jedna KGJ o výkonu 1,2MW, teplo z této jednotky je využito na vytápění přilehlých objektů a nebude s ním dále počítáno pro využití v ORC.



Obr. č. 4.8 – 2 x KGI na lokalitě František o výkonu 2 x 1,6MW

4.6 Výběr ORC technologie na lokalitu František

K dispozici na této lokalitě pro jednotku ORC, je celý tepelný výkon z KGI František č.2, nebo tepelný výkon spalín z KGI František č.2,3.

Mezi nejvhodnější ORC technologie na tuto lokalitu se nabízí tyto jednotky:

a) CCC (Capston Clean Cycle) 125 (viz. Obr. č. 4.9)

– <u>výrobce:</u>	Capstone (GE), dodavatel do ČR: Gascontrol, s.r.o
– <u>investice:</u>	cca 11 000 000 Kč
– <u>Výkon jednotky:</u>	125kW
– <u>Vlastní spotřeba:</u>	22kW
– <u>Dodávka do sítě:</u>	103kW
– <u>Vyrobena el. energie za rok:</u>	824MWh
– <u>Náklady na provoz, údržbu a opravy za rok:</u>	165 000 Kč
– <u>Pracovní látka:</u>	R 245 fa (pentafluoropropan)
– <u>Potřebná vstupní teplota:</u>	150-180°C
– <u>Zdroj odpadního tepla:</u>	celkový tepelný výkon z 1KGI (chladicí voda z bloku motoru KGI o teplotě 81-92°C + spaliny z KGI o teplotě cca 440°C)

- Výhody:
 - +Nízká pořizovací cena
 - +Možnost použít na jednu KGJ
- Nevýhody:
 - Při odstavení KGJ dojde k zastavení provozu ORC
 - Nutnost napojení na vodovodní a kanalizační řád z důvodu typu chlazení



Obr. č. 4.9 –CCC 125

b) 2 x ORC Green Machine (viz. Obr. č. 4.10)

- výrobce: Electra Therm (USA), dodavatel do ČR: GB Consulting
- celková investice: cca 12 000 000 Kč
- Výkon dvou jednotek: 130kW
- Vlastní spotřeba: 40kW
- Dodávka do sítě: 90kW
- Vyrobena el. energie za rok: 720MWh
- Náklady na provoz, údržbu a opravy za rok: 172 000 Kč
- Pracovní látka: R 245 fa
- Potřebná vstupní teplota: 80 – 120°C
- Zdroj odpadního tepla: Celkový tepelný výkon z 1KGJ (chladící voda z bloku motoru KGJ o teplotě 81-92°C + spaliny z KGJ o teplotě cca 440°C)

- Výhody:
 - +Nízká pořizovací cena
 - +Možnost použít na jednu KGJ
 - +Potřebný zdroj tepla je pouze 80°C
- Nevýhody:
 - Při odstavení KGJ dojde k zastavení provozu ORC
 - Nutnost napojení na vodovodní a kanalizační řád z důvodu typu chlazení
 - Vysoká vlastní pspotřeba pro chlazení



Obr. č. 4.10 –ORC Green Machine

c) Triogen 160 (viz. Obr. č. 4.11)

- | | |
|---|--|
| – <u>výrobce:</u> | Triogen (NL), dodavatel do ČR: B:Power |
| – <u>investice:</u> | cca 15 000 000 Kč |
| – <u>Výkon jednotky:</u> | 160kW |
| – <u>Vlastní spotřeba:</u> | 15kW |
| – <u>Dodávka do sítě:</u> | 145kW |
| – <u>Vyrobena el. energie za rok:</u> | 1280MWh |
| – <u>Náklady na provoz, údržbu a opravy za rok:</u> | 311 000 Kč |
| – <u>Pracovní látka:</u> | Toluen |

- Vstupní teplota: 350 - 500 °C
- Zdroj odpadního tepla: tepelný výkon spalin dvou KGJ (spaliny KGJ o teplotě cca 440°C)
- Výhody:
 - +Kompaktní řešení od základu navržené pro provoz KGJ s plynovými motory
 - +ORC bude v provozu i při odstávce jedné KGJ
 - +Bude zachována dodávka tepla z chlazení motoru pro vytápění přilehlých objektů
 - +Použity suché chladiče (není třeba napojení na vodovodní a kanalizační řád)
 - +Řada instalací v Evropě
- Nevýhody: -Vyšší pořizovací cena
 - Při nasazení pouze na jednu KGJ se z ekonomického pohledu investice nevyplatí, protože nebude dosaženo plného výkonu ORC. Pro plný výkon výkon je potřeba 900kW odpadního tepla (z jedné KGJ pouze 700kW)



Obr. č. 4.11 –ORC Triogen 160

- **Zhodnocení:**

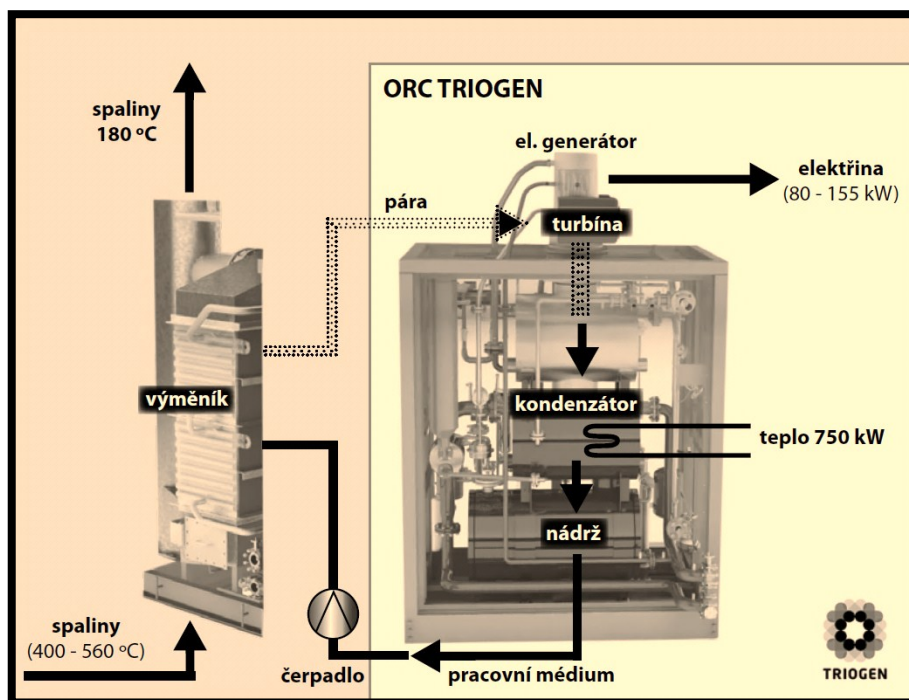
Při zhodnocení všech faktorů z technického a ekonomického hlediska se jeví jako nejefektivnější varianta možnost c) ORC Triogen 160 od dodavatele B:Power, a.s.

4.7 ORC Triogen 160 (viz obr. 4.12)

Historie Triogen ORC:

Vývoj technologie započatý v roce 2001, v kooperaci s finskou technickou univerzitou. Testování a ladění technologie trvalo cca 7 let a prvních 5 jednotek bylo nasazeno po Holandsku v roce 2008. Od roku 2010 expanze ORC jednotek do zahraničí.

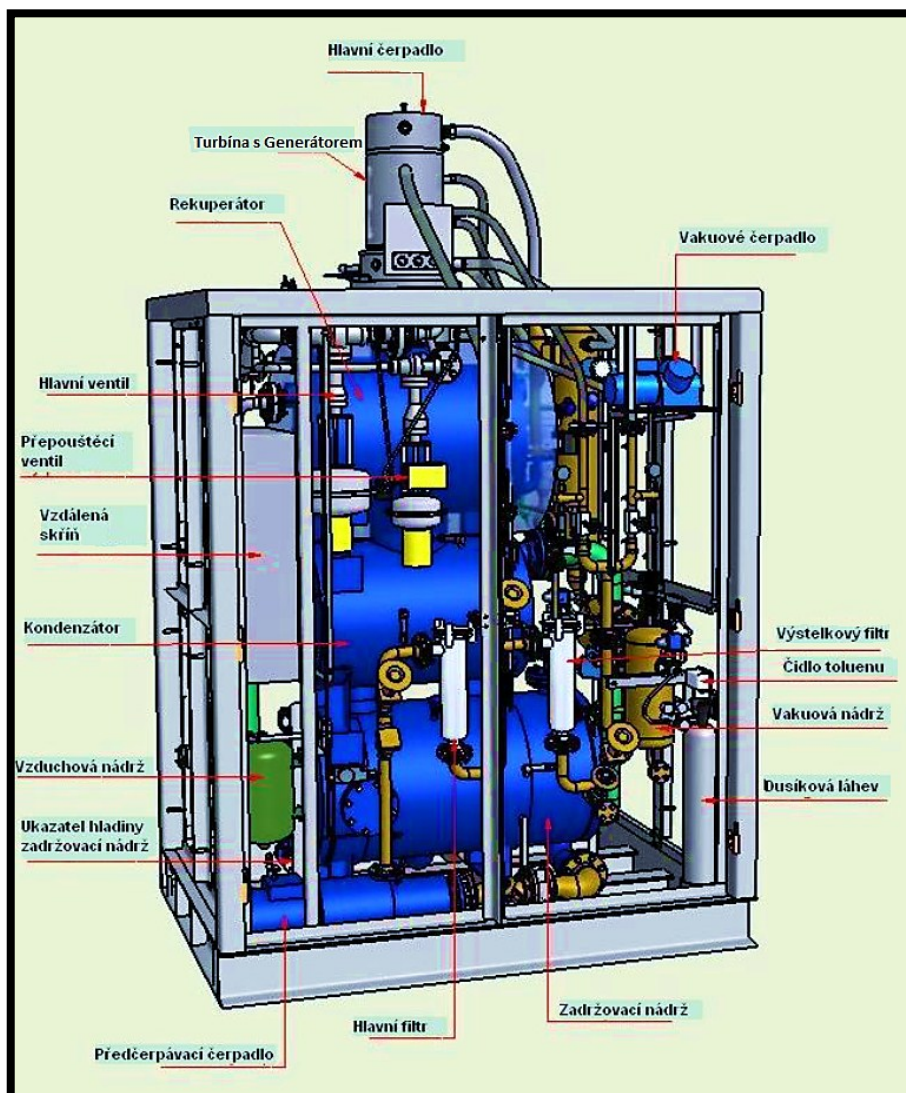
Vnitřní funkce ORC:



Obr. č. 4.12 –Princip ORC Triogen 160

Zařízení Tri-O-Gen ORC se skládá z čerpadel, výměníků, filtrů, nádrží, vysokorychlostního turbogenerátoru a spojovacího potrubí. Základními komponenty sestavy jsou čerpadla, výměníky, spojovací potrubí a vysokorychlostní turbogenerátor. Soustava čerpadel se skládá ze dvou odstředivých čerpadel, zapojených za sebou. První čerpadlo je předčerpávací. Je poháněné elektřinou a slouží k zásobování druhého čerpadla, které je hlavní. Hlavní čerpadlo je umístěné na stejné hřídeli jako turbína, tudíž je turbínou poháněno. Toto rozmístění zajišťuje, že pokud turbína neběží, pak v systému není vysoký tlak, jelikož hlavní čerpadlo není poháněné turbínou. Předčerpávací čerpadlo přečerpává kapalinu ze zadržovací nádrže to hlavního čerpadla. Kapalina je do hlavního čerpadla přivedena tlakem o velikosti cca 4 Bar. Hlavní čerpadlo zvýší tlak, v závislosti na rychlosti otáčení turbíny, až na cca 33 bar. Rychlost otáčení turbíny se reguluje na základě tepelného výkonu. Hlavní čerpadlo přečerpává kapalinu do rekuperátoru, před tím než se přivede do výparníku. V rekuperátoru se kapalina předeheje díky páře unikající z turbíny. Po průtoku rekuperátorem se kapalina ve výparníku ještě více předeheje, zkondenzuje a mírně

přehřeje. Z výparníku pára proudí k turbíně, kde dojde k její expanzi, čímž spustí chod turbíny, která pohání elektrický generátor a hlavní čerpadlo. Z turbíny pára proudí přes rekuperátor, který předehtívá kapalinu přiváděnou do výměníku tepla. Poslední etapou procesu je kondenzace páry na vodu chlazenou kondenzátorem, která se poté odvede zpět do zadržovací nádrže.



Obr. č. 4.12 –Popis ORC Triogen 160

Popis cyklu:

Zařízení Tri-O-Gen ORC umožňuje přeměnit tepelnou energii (odpadní teplo o teplotě 350-500°C) na elektrickou energii pomocí elektrického generátoru dle stanovených termodynamických podmínek. Spaliny se vedou přímo na výměník ORC spaliny/toluen. Toluen se zahřeje pod tlakem cca 30 bar na teplotu cca 300°C, vstupuje na lopatky turbíny ORC a roztočí ji na 28 000 ot/min. Na připojeném asynchronním generátoru začne zařízení vyrábět elektrickou energii. Díky využití vysokých teplot přímo ze spalin ORC Triogen dosahuje účinností pohybující se okolo 17%. Tato hodnota řadí ORC Triogen mezi špičky v této technologii. V chladícím okruhu ORC je tepelný výkon

roven 70% vstupního tepelného výkonu, o teplotním spádu cca 55°C - 35°C. Požadovaný tepelný výkon spalín, aby zařízení jelo na 100%, je 900 kWth.

Připojení ORC na KGJ:

Připojení se provede přes přírubové spoje, bude proveden by-pass před spalínovým výměníkem, v případě odstávky ORC půjdou spaliny do výměníku, v případě chodu ORC bude tento okruh uzavřen a otevřena spalínová cesta do ORC. Toto připojení nemá jakýkoliv vliv na chod KGJ a neovlivňuje žádným způsobem činnost KGJ. Výrobce poskytuje na zařízení záruku 24 měsíců od předání zařízení.

4.8 Výpočet tepelného výkonu spalín 2x KGJ Tedom Quanto D 1600

Při výpočtu tepelného výkonu spalín pro ORC Triogen 160 budeme počítat s tepelným výkonem spalín dvou KGJ Tedom Quanto D 1600, jejichž množství výfukových emisí je 2 x 6 750 Nm³/h.

Tab. č. 3 - Základní technické údaje 1 KGJ

jmenovitý elektrický výkon:	1 558 kW
maximální tepelný výkon:	1 583 kW
příkon v palivu:	3 666 kW
účinnost elektrická:	42,5 %
účinnost tepelná:	43,2 %
účinnost celková (využití paliva):	85,7 %
spotřeba plynu při 100% výkonu:	380 m ³ /h 100% CH ₄

Tab. č. 4 - Odvod spalín

množství spalín	2 x 6 750 Nm ³ /h
teplota spalín mezi KGJ a ORC	440°C
teplota spalín na výstupu z ORC do atmosféry	180°C

Tab. č. 5 - Objemové složení spalín

CO₂	5,6 %
O₂	8,4 %
N₂	75 %
H₂O	11 %

Výpočet energie spalín

Střední měrná teplota :

$$T = \frac{(T_{\text{vstup}} - T_{\text{výstup}})}{2} = \frac{440 - 180}{2} = 130^{\circ}\text{C}$$

Tab. č. 6 - Měrná tepelná kapacita c_p

Složení spalin	Objemový podíl [%]	c_{p100} [kJ/m ³ _n ·K]	c_{p200} [kJ/m ³ _n ·K]	c_{p130} [kJ/m ³ _n ·K]	c_{p130} – (přepočít dle objemového podílu) [kJ/m ³ _n ·K]
CO ₂	5,6	1,794	1,949	1,8405	0,103068
O ₂	8,4	1,333	1,375	1,3456	0,1130304
N ₂	75	1,303	1,315	1,3066	0,97995
H ₂ O	11,0	1,519	1,560	1,5313	0,168443
Σ					1,3644914

Příklad výpočtu pro CO₂ :

$$c_{p130} = c_{p100} + 30 \cdot \frac{c_{p200} - c_{p100}}{100} = 1,794 + 30 \cdot \frac{1,949 - 1,794}{100} = 1,8405 \text{ kJ/m}_n^3 \cdot \text{K}$$

Přepočít dle objemového podílu:

$$c_{p130} = c_{p130} \cdot \frac{\text{Objemový podíl CO}_2}{100} = 1,8405 \cdot \frac{5,6}{100} = 0,103068 \text{ kJ/m}_n^3 \cdot \text{K}$$

Množství spalin :

$$V = \frac{V}{3600} = \frac{2 \cdot 6750}{3600} = 3,75 \text{ m}_n^3/\text{s}$$

Výkon spalin dvou KGJ:

$$Q = V \cdot c_p \cdot \Delta T = 3,75 \cdot 1,3644914 \cdot (440 - 180) = \underline{\underline{1330 \text{ kWth}}}$$

Požadovaný tepelný příkon pro jednotku ORC je 900 kWth. Z tohoto kontrolního výpočtu vyplývá, že výkon spalin obou jednotek je vyšší než požadovaný tepelný příkon ORC jednotky a pro instalaci zařízení ORC Triogen 160 je tak možné využít tepelného výkonu spalin dvou KGJ Tedom Quanto D 1600.

4.9 Výpočet celkové elektrické účinnosti KGJ + ORC

Tab. č. 7 - Vstupní data pro soustrojí ORC + 2 x KGJ Tedom Quanto D 1 600

Příkon v palivu	2 x 3 666 kW
Jmenovitý elektrický výkon 2 KGJ	2 x 1 558 kW
Elektrická účinnost KGJ	42,5 %
Jmenovitý elektrický výkon ORC	160 kW
Elektrická účinnost ORC	15 %

$$\eta_{\text{soustrojí}} = \frac{\text{Celkový elektrický výkon}}{\text{Příkon v palivu}} \cdot 100 = \frac{\text{Výkon 2 KGJ} + \text{Výkon ORC}}{\text{Příkon v palivu}}$$

$$\eta_{\text{soustrojí}} = \frac{3116 + 160}{7332} \cdot 100 = \frac{3116}{7332} \cdot 100 = \underline{44,68\%}$$

Tímto výpočtem jsem zjistil, že zapojením ORC technologie na lokalitě Františku, zvýším celkovou elektrickou účinnost, obou dvou KGJ (František 1,2) na této lokalitě, z 42,5% na 44,68%.

4.10 Ekonomické zhodnocení ORC v podmínkách Green Gas DPB a.s.

- Výpočet výstupní energie ORC:

Jmenovitý elektrický výkon ORC:	160 kW
Provozní hodiny:	8 000 hod/rok
Spotřeba 100% CH₄ k výrobě 1 kWh v KGJ:	0,25 m ³
Vyhřevnost zemního plynu:	33,48 MJ/m ³

- Úspory vstupní energie plynu:

Tab. č. 8 – Výroba el. energie, úspora plynu a emisí CO₂ při instalaci jednotky ORC Triogen 160

Instalovaný výkon ORC [kW]	Provozní hodiny [hod/rok]	Vyrobená el. energie [kWh/rok]	Úspora plynu [m³ 100 % CH₄]
160	8 000	1 280 000	320 000

- Úspory emisí CO₂:

Tab. č. 9 – Úspora emisí CO₂ při instalaci jednotky ORC Triogen 160

Uspořené palivo	Úspora paliva za rok [m ³]	Úspora paliva za rok [MWh]	CO ₂ - Faktor [g/kWh]	CO ₂ - Úspora emisí [t/rok]
Zemní plyn	320 000	2 976	230	684

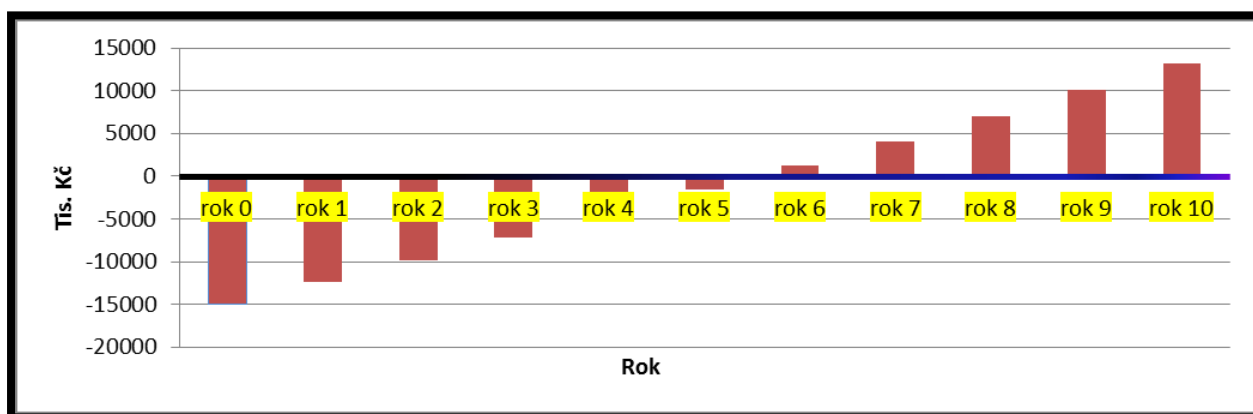
Zjistil jsem, že zapojením ORC technologie na lokalitě Františku se ušetří 320 tis. m³ 100% CH₄ a tím se zabrání vzniku 684 tun emisí CO₂.

- Ekonomické zhodnocení:

Tab. č. 10 – Ekonomické zhodnocení investičního záměru ORC Triogen 160

		rok 0	rok 1	rok 2	rok 3	rok 4	rok 5	rok 6	rok 7	rok 8	rok 9	rok 10
Výroba el. energie z tepla	MWh		1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160
Cena el. energii - OZE	Kč/kWh		2,72	2,77	2,83	2,89	2,94	3,00	3,06	3,12	3,19	3,25
Navýšení výnosů celkem	tis. Kč		3155	3218	3283	3348	3415	3484	3553	3624	3697	3771
Náklady na provoz	tis. Kč		311	311	311	311	311	311	311	311	311	311
Odpisy - ORC jednotka	tis. Kč		1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Náklady celkem	tis. Kč		1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811
Hrubý Výnos před zdaněním	tis. Kč	0	1344	1407	1472	1537	1604	1673	1742	1813	1886	1960
Daň z příjmu	tis. Kč	0	269	281	294	307	321	335	348	363	377	392
Hrubý výnos po zdanění	tis. Kč	0	1075	1126	1177	1230	1283	1338	1394	1451	1509	1568
Příjmy celkem	tis. Kč	0	3155	3218	3283	3348	3415	3484	3553	3624	3697	3771
Investice - ORC	tis. Kč	-15000										
Výdaje celkem	tis. Kč	-15000	-580	-592	-605	-618	-632	-646	-659	-674	-688	-703
Cash Flow roční	tis. Kč	-15000	2575	2626	2677	2730	2783	2838	2894	2951	3009	3068
Cash Flow kumulovaný	tis. Kč	-15000	-12425	-9799	-7121	-4392	-1608	1230	4124	7074	10083	13151

Pro výpočet návratnosti investice jsem počítal s cenou silové energie a zeleného bonusu pro elektrickou energii z uzavřených dolů. Roční nárůst celkové ceny elektrické energie předpokládám 2%. Množství celkově vyrobené elektrické energie za rok z předešlého výpočtu je 1 280MWh, ale musím odečíst 120MWh pro vlastní spotřebu ORC. Dobu využití jsem stanovil na 10 let.



Graf č. 7 – Kumulovaný Cash Flow (tok peněz)

-Z grafu vyplývá že doba návratnosti zařízení ORC Triogen 160 je cca 5,6 let.

4.11 Možnosti využití ORC jinde ve světě

- **Elektrárny na biomasu**

Největší výhodou je, že biomasa je snadno dostupná všude po světě a může tak být použita pro výrobu el. energie. ORC může být použito i pro menší elektrárny. Typické využití se nabízí u kotelen na biomasu, kde se primární energie využije na výrobu el. energie i tepla.

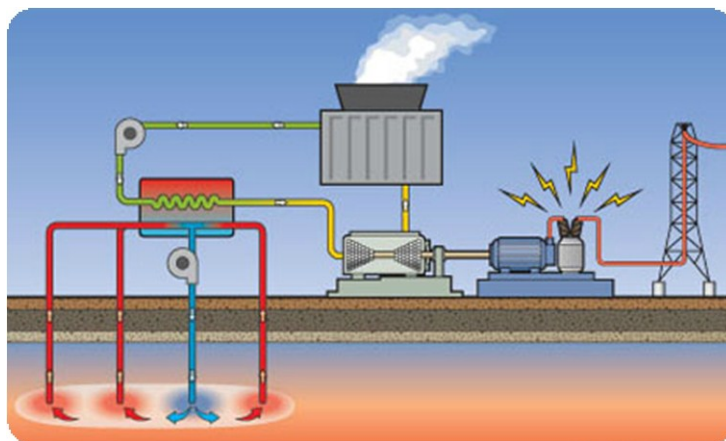


Obr. č. 4.13 – Elektrárna na biomasu Lienz

V České Republice jsou v provozu elektrárny na biomasu využívající ORC v Třebíči (výkon ORC jednotky 5,4 MWth+ 1 MWe) a Trhových Svinech (2,8 MWth+ 0,6 MWe). V zahraničí je elektrárna na biomasu využívající ORC např. v rakouském Lienzu o výkonu 4,65 MWth a 1 MWe. Jejich upltnění je možné téměř všude ve světě.

- **Geotermální elektrárny**

Nízká teplota bodu varu pracovní látky dává ORC výhodu pro použití u nízkoteplotních zdrojů. Toho lze využít u geotermálních pramenů na celém světě, kde tyto prameny dosahují teplot od 50 do 350°C, což je pro ORC ideální. Nicméně je třeba mít na paměti, že při teplotě zdroje tepla při 100°C je účinnost ORC velmi nízká.



Obr. č. 4.13 – Využití geotermálního tepla na Islandu pomocí ORC

Studená voda je natlačována do země, kde se ohřeje a je ve výměníku ORC využita (viz. Obr. č. 4.14). Využití geotermálních zdrojů je značně ovlivněno geologickým složením, které ovlivňuje perspektivy a možnosti využití. Využívání je též ovlivněno ekonomickou a technickou vyspělostí země. Tento způsob využití geotermální energie se ve velkém počtu využívá na Islandu a v zemích bohatých na geotermální energii.

- **Solární elektrárny**

U solárních zdrojů se na celkové účinnosti podílí také činnost solárních kolektorů. Zatímco účinnost ORC s narůstajícími vstupní teplotou roste, účinnost kolektorů klesá. Solární systém využívá tepelného cyklu CSP (Concentrated Solar Power), založeného na freselově čočce, která má účinnost kolem 80%. Sluneční světlo zahřívá vodu ve vakuových zkumavkách a dosahuje teploty 95°C. Na rozdíl od fotovoltaických systému, CSP může pracovat 24 hodin denně, protože obsahuje nádrž na skladování teplé vody pro výrobu elektrické energie v ORC. [20]



Obr. č. 4.14 – Využití solárních kolektroů pro pohon ORC v Africe

5. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se snažil popsat kogenerační výrobu z důlního plynu a následnou možnou aplikaci ORC pro využití odpadního tepla KGJ na vybrané lokalitě v OKR. Jako nejvhodnější se jevila lokalita na Františku, protože na tomto místě se nachází 3KGJ a velká část jejich tepla je nevyužita. ORC technologie je schopna zvýšit efektivitu výroby elektrické energie.

Využití nízkopotencionálního plynu pro výrobu elektrické energie se jeví jako zajímavá možnost. Důlní plyn s obsahem 30-50% CH_4 je plnohodnotná energetická surovina, která vzniká v rozsáhlé důlní činnosti v OKR. Dále bych chtěl vyzdvihnout účelnost KGJ (celková účinnost až 90% při maximálním využití tepla) a důležitost využití tepla, která je podporována státem pomocí energetického regulačního úřadu ve formě příplatků.

Použití ORC přináší úspory primární energie a s tím spojené snížení znečišťujících látek do ovzduší. Účinnost ORC systému je relativně nízká (cca 15%), ale přesto tam kde není teplo přímo využito je jeho nasazení na KGJ jedno z nejefektivnějších možných řešení. Velkou výhodou ORC je jeho schopnost pracovat s nízkopotencionální energií (cca 120°C). Nevýhodou pro ORC s sebou nese o i organická pracovní látka, která na rozdíl od vody trpí chemickým rozkladem při vyšších teplotách. Maximální hodnota teploty zdroje tepla je tak omezena chemickou stabilitou pracovní látky. Další nevýhodou je vysoká pořizovací cena, která může v budoucnu klesat s vyšším počtem vyrobených zařízení. ORC technologie by se tak v budoucnu daly efektivně využít na více lokalitách OKR.

Pro můj příklad použití ORC Triogen 160 na lokalitě František, jehož pořizovací cena je cca 15mil. Kč, je návratnost 5,6 let. Úspora primárního paliva je 320tis. m^3 100% CH_4 a zabrání se vzniku 684 tun emisí CO_2 ročně.

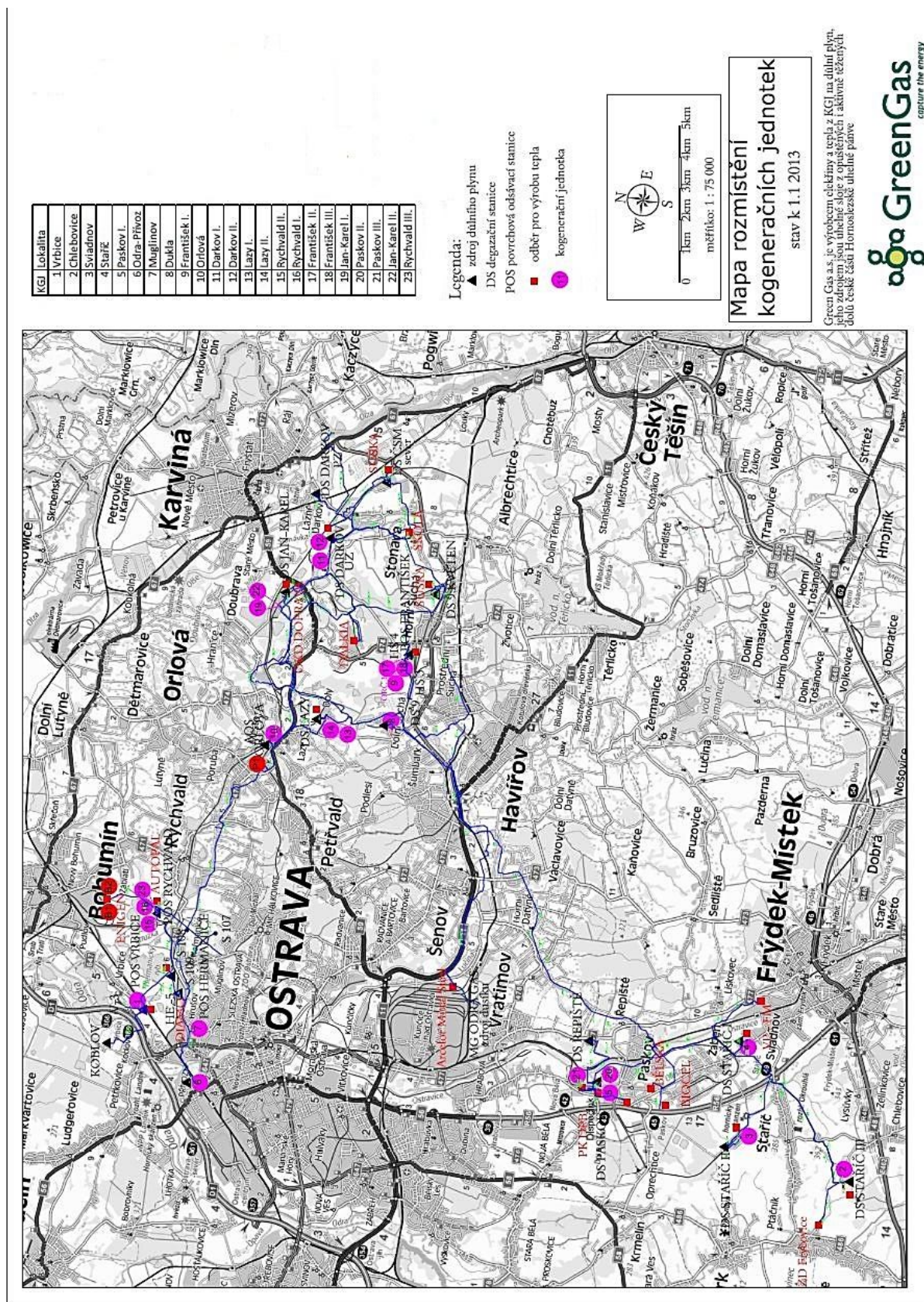
6. Seznam použité literatury

- [1] KŘENEK, D., KONEČNÝ, M. Technická zařízení pro odsávání důlních plynů. Firemní materiál Green Gas DPB, a.s.
- [2] KONÍČEK, J., KONEČNÝ, M. Využití důlního plynu z Ostravsko-karvinských dolů v kogeneračních jednotkách. Firemní materiál Green Gas DPB, a.s.
- [3] KONÍČEK, J., DVOŘÁK, R. Výroba elektrické energie a tepla z důlního plynu, Firemní materiál Green Gas DPB, a.s.
- [4] www.msek.cz – Moravskoslezský energetický klastr
- [5] Motůsová, M., Diplomová práce – Alternativní řešení ke stanici KGJ, VŠB Ostrava, 2011
- [6] SBÍRKA PŘEDPISŮ ČESKÉ REPUBLIKY, Vyhláška 453/2012 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů.
- [7] PTÁČEK, M., Diplomová práce – Kogenerační jednotka, VUT Brno, 2008
- [8] KONEČNÝ, M., Informativní projekt – Kontejnerový zásobník tepla LaTherm
- [9] www.latherm.de – Výrobce zásobníků tepla LaTherm
- [10] www.tts.cz – Zajišťovatel dodávky tepla TTS Group
- [11] SNÁŠEL, J., Bakalářská práce – Netradiční tepelné oběhy
- [12] www.gbconsulting.cz – Výrobce energetických zařízení GB Consulting, a.s.
- [13] Kysela, L., Míka, J., Kyselová, S. Teplárenství, VŠB TU Ostrava, 2010
- [14] Dvořák, R., Využití tepla z kogenerace k výrobě elektrické energie pomocí Organického Rankinova cyklu, 2010
- [15] www.ekowatt.cz – Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie
- [16] www.stela.de – Výrobce sušiček rostlinných komodit Stela, a.s.
- [17] Macháček, P., Bakalářská práce – Tepelné motory pro využívání odpadního tepla, VUT Brno, 2010

- [18] Švábenský, P., Bakalářská práce – Výroba elektřiny z odpadního tepla, VUT Brno, 2012
- [19] www.bpower.cz – Dodavatel moderních technologií pro energetiku
- [20] www.termocycle.com – Společnost zabývající se výrobou elektrické energie z tepla
- [21] www.gascontrol.cz – Stránky společnosti Gascontrol, a.s.
- [22] www.ckd.cz – Stránky společnosti ČKD Group, a.s.
- [23] www.cez.cz – Stránky společnosti ČEZ, a.s.

7. Přílohy:

Příloha č.1 : Mapa situace KGJ a plynovody společnosti Green Gas DPB, a.s., 2013



Příloha č.2 : Mapa situace lokality na Františku

